Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Menschengerechte Arbeitsgestaltung

72. Frühjahrskongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeits- und Organisationspsychologie
Universität Kassel

Herausgegeben von der Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V., Sankt Augustin

© GfA-Press, Sankt Augustin

11. bis 13. März 2026

GfA Press

GfA-Press, 2026 ISBN 978-3-936804-38-6 DOI 10.61063/FK2026 Alle Rechte vorbehalten

Hinweise

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet, den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form zu vervielfältigen, zu verarbeiten bzw. Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media, KI-Systeme) zu verbreiten. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung zum Zwecke des Text- und Data-Minings.

Zitationen aus dem Tagungsband sind ausschließlich unter Nennung der vollständigen bibliographischen Angaben der Literaturquelle erlaubt. Etwaige Rechte Dritter an Abbildungen oder Tabellen bleiben hiervon unberührt und sind gesondert zu beachten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Autorinnen und Autoren; die GfA haftet nicht für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Vorwort

Der Begriff „menschengerechte Arbeitsgestaltung“ ist im Jahr 2026 seit 30 Jahren im Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) verankert. Als Resultat des Programms der Humanisierung hat die Novelle der Arbeitsschutzgesetzes die Ergebnisse des Programms gesetzlich abgesichert. In der heutigen Arbeitswelt ist die Berücksichtigung dieses Begriffes in der Arbeitsgestaltung wichtiger als je.

Die Arbeitswelt steht vor tiefgreifenden Umbrüchen. Globale Unsicherheiten in Lieferketten, Energieversorgung und Märkten treffen auf Megatrends wie Digitalisierung und künstliche Intelligenz, Nachhaltigkeit und menschenwürdige Arbeit, demografischen Wandel, neue Arbeitszeitmodelle sowie die fortschreitende Automatisierung. Diese Entwicklungen erhöhen den Druck auf Unternehmen und Gesellschaft gleichermaßen – und bergen die Gefahr, dass menschengerechte Arbeitsgestaltung in den Hintergrund gerät und reaktiv betrieben wird.

Für eine gesunde und nachhaltige Zukunft ist es entscheidend, die menschengerechte Perspektive in den Mittelpunkt zu stellen. Die Arbeitswissenschaft leistet hier einen wesentlichen Beitrag: Sie zeigt, wie die Herausforderungen der modernen Arbeitswelt durch einen proaktiven, wissenschaftlich fundierten Gestaltungsansatz bewältigt werden können.

Der Frühjahrskongress 2026 der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft in Kassel steht daher unter dem Motto „Menschengerechte Arbeitsgestaltung“. Hier werden die vielfältigen Facetten des Themas in ihrer ganzen Breite beleuchtet, diskutiert und gemeinsam weiterentwickelt.

Fortgeführt wird der Dialog auf der Herbstkonferenz der GfA 2026 in Friedrichshafen, die ausgerichtet von Prof. Karsten Kluth der Universität Siegen den Schwerpunkt auf konkrete Lösungen für menschengerechte Arbeitswelten legt.

Mit beiden Veranstaltungen setzt die GfA ein bedeutendes Zeichen: Nur durch die konsequente Ausrichtung einer Arbeitsgestaltung auf den Menschen lassen sich zukunftsfähige, nachhaltige und erfolgreiche Arbeitswelten gestalten.

Prof. Dr. phil. habil. Oliver Sträter und A&O-Team

Inhaltsverzeichnis

Arbeitsgestaltung und soziotechnische Systeme

Ergonomische Gestaltung von Arbeitssystemen

Von Anthropologie bis Ergonomie: eine Methode zur Evaluation der menschlichen Belastung durch handwerkliche Werkzeuge 25
Johannes PFLEGING, Alice RODRIGUEZ, Eugénie Gauvrit ROUX, Radu IOVITA, Sylvie BEYRIES

Building Information Modeling in frühen Phasen der Bauplanung: Welchen Nutzen bieten BIM-Tools für die Zusammenarbeit? 31
Eric BUNSE, Fabian WILLEMSEN, Timon HAILU, Susanne MÜTZE-NIEWÖHNER

Das 3M-Konzept als Lean-basierter Analyseansatz für menschenorientierte Arbeitsgestaltung in Paketverteilzentren 37
Harald STEINKELLNER, Domenik KAEVER

Mensch und Arbeitssysteme

Virtual Reality für kollaborative Arbeit: Eine arbeitssoziologische Perspektive auf die menschengerechte Gestaltung immersiver Technologien 43
Marie-Kristin DÖBLER, Michael HEINLEIN, Norbert HUCHLER, Judith NEUMER

Gamification in der Produktion: Qualitative Analyse praxisbezogener Wahrnehmungen und arbeitswissenschaftliche Implikationen 49
Viktoria MORDASCHEW, Benedikt LATOS

Arbeiten bis 70 – wie kann es funktionieren? 55
Angela SCHORR

Die Gesundheitsberufe und die digitale Transformation – eine Handlungsempfehlung 60
Alexander GOROVOJ, Angela SCHORR

Trauma in der Arbeitswelt 66
Lars Christian BÖRNER, Stephanie HARTUNG

Trauma in der Arbeitswelt 69
Stephanie HARTUNG

(Gem)einsam in der Arbeitswelt – Verbundenheit in erodierenden Arbeitszusammenhängen als zentrales Element menschengerechter Arbeitsgestaltung 72
Kerstin GUHLEMANN, Sonja KIRSCHALL

Menschengerechte Arbeitsgestaltung und Digitale Arbeitsmittel in der Praxis – Vorgehensweisen und Produkte aus dem Projekt PerspektiveArbeit Lausitz (PAL): Lösungsansätze für spezifische Herausforderungen von Unternehmen

Projektionslaser als Befähiger zur Adaptivität in der manuellen Montage von KMU 78
Falk GRUBER, Leif GOLDHAHN

Von der Prozessanalyse zur Gestaltung menschzentrierter Assistenz – ein workshopbasierter Ansatz in der Leiterplattenmontage 84
Katharina MÜLLER-EPPENDORFER, Sarah GRUß, Thomas PFAFF, Christina PIETSCHMANN

Vertriebsstärkung durch interne Reorganisation in Kleinst- und Kleinunternehmen 90
Michael GÜHNE, Ulrike PIETRZYK

Menschengerechte Arbeitsgestaltung und Digitale Arbeitsmittel in der Praxis – Vorgehensweisen und Produkte aus dem Projekt PerspektiveArbeit Lausitz (PAL): Praxistransfer und generalistische Vorgehensweisen

Formate und Möglichkeiten erfolgreichen Praxistransfers der im Projekt PAL gewonnenen Erkenntnisse 95
Rico GANßAUGE, Lukas BURCHARD, Roberto KOCKROW

Hybride Demonstrationszentren als Treiber menschengerechter Digitalisierung 101
Fabian DIETRICH, Robert ECKARDT, Falk GRUBER, Sarah KELSCHEBACH, Roberto KOCKROW, Leif GOLDHAHN

Smarte Systeme in der Gefährdungsbeurteilung: Ein ganzheitlicher Ansatz für den betrieblichen Arbeits- und Gesundheitsschutz 107
Torsten MERKEL, Gabriele BURUCK, Alina PUHL, Patrick NAUSCH, Sandro FISCHER, Max GRÄßLER, Lion HEIMANN, Fabian DIETRICH

Wie Personalentwicklung auf die Technikakzeptanz wirkt: Verstetigungspotenziale im digitalen Wandel erkennen und gestalten 111
Claudia GRAF-PFOHL, Simon FRONCZEK, Lisa-Marie WINKLER

Menschengerechte Gestaltung in Zeiten der Digitalisierung

Kontexte, Bedingungsgefüge und Ermöglichungen einer menschengerechten Arbeitsgestaltung 117
Oliver STRÄTER, Bruno ZWINGMANN

Humane Arbeitsgestaltung: Wie die Digitalisierung der Arbeit bedeutsame Arbeitsmerkmale in verschiedenen Berufen verändert 123
Sandra OHLY, Amina GRANICA, Hannes HERWIG, Niklas KÜHLEWIND, Tobias PAETZOLD, Lana VINHOVEN, Luisa WIEMERS, Xi ZHANG

Optimierung der Mensch-Roboter-Kollaboration durch prognostizierbare Bewegungen und anthropomorphe Bahnführung 129
Sumona SEN, Mehrach SAKI

Partizipative Arbeitsgestaltung

Mixed-Methods-Ansatz zum Vergleich von zufälliger, gezielter und partizipativer Auftragszuordnung in der Kommissionierung 133
Linda Maria WINGS, Minqi ZHANG, Thomas DE LOMBAERT, Veronika KRETSCHMER, Eric H. GROSSE, Alice KIRCHHEIM

Partizipation und Mitgestaltung: Peers als Akteure betrieblicher Mental-Health-Strategien 139
Monika MÖHLENKAMP

Soziotechnische Gestaltung

Flexible Arbeitsmodelle in der zerspanenden Fertigung – Betriebliche Voraussetzungen und Typologien auf Basis einer empirischen Untersuchung 144
Jakob WEBER, Marc-André WEBER, Sascha STOWASSER

Zwischen Teamdynamik und Selbstentfaltung: Übergänge von Ingenieurinnen in MINT-Berufen 150
Melanie TROMMER, Eva STROBL, Simon FRONCZEK, Susann ZEINER-FINK

Erlebte Zukunft der Arbeit: Sozio-technische Systeme durch XR begreifbar machen 156
Anna GELIEV, Adjan HANSEN-AMPAH

Ergonomische und barrierefreie Gestaltung mobiler Schutzräume für Naturkindergärten mittels Prozesssimulation 162
Julius HANNAK, Michael SPITZHIRN, Elisabeth QUENDLER

Menschengerechte Gestaltung soziotechnischer Assistenzbeziehungen bei technikgestützter personenbezogener Dienstleistungsarbeit – am Beispiel Pflege 168
Marlen MELZER, Peter BINIOK

Digitale Technologien und KI

AKzentE4.0: Menschengerechter Einsatz von digitalen und KI-gestützten Technologien für Industrie und Handwerk

Erfassung, Visualisierung und Vermittlung von Prozesswissen durch Video und Motion Capture in Extended Reality: Design Implikationen einer explorativen Machbarkeitsstudie 174
Philip Hermann SCHÄFER, Paula DANHAUSEN, Helena KNAUP, Alexander MERTENS, Verena NITSCH

Expert Review of a VR-based Interactive Demonstrator for Teleoperations in Human-Robot Collaborative Applications: Robot Assisted Surface Grinding of Complex Workpieces 180
Srikanth NOUDURI, Alexander MERTENS, Verena NITSCH

Vom operativen zum strategischen Einkauf in KMU durch datengetriebene Entscheidungsunterstützung zur Bewältigung von Unsicherheiten 186
Joschua SCHULTE-TIGGES, David KEITEL, Ercan CÜCEOGLU, Stefan SCHIFFER, Alexander FERREIN

Relevanz von multimethodischen Angeboten zur Weiterbildung von Prozessbegleiter*innen in digitalen und KI-gestützten Veränderungsprozessen: Beispiele aus dem AKzentE4.0-Projekt 192
Daniela DROST, Sarah HEINS, Paul FUCHS-FROHNHOFEN, Jona PANNENBECKERS

Intuitive Mensch-Roboter-Interaktion: Entwicklung und Evaluation eines gestenbasierten User Interfaces für die Objektauswahl 197
Bijan KAVOUSIAN, Oliver PETROVIC, Werner HERFS

Autonome Systeme, Autonomes Fahren und Mensch-Roboter-Kollaboration

Evaluation eines mobilen Arbeitsplatzkonzeptes für teilautomatisierte Fahrzeuge mittels physischem und VR-Prototyp 203
Selina LAYER, Nine REINING, Linn BRAUNMILLER, Imke WEISER, Reto ROSENSTIEL, Frank BEUTENMÜLLER

Kompetenz und Konfidenz menschlicher Kontrolle von Hochrisiko-KI-Systemen in der Personalauswahl: Selbsteinschätzung von Anwendern 209
Jan GRENZEBACH, Silvio ARMBRÜSTER, Thea RADÜNTZ

Human-Centered Design of Augmented Reality Cues in Teleoperation 215
Kuang-Jou CHEN, Chih-Hsing CHU

Chatbots

Inklusive Gestaltung eines Chatbots zur Verbesserung des Arbeitsmarktzugangs von Menschen mit Behinderungen – Ergebnisse und Herausforderungen einer qualitativen Anforderungsanalyse 222
Ina SCHIEDERMAIR, Natalie MARTIN, Tobias KOPP

Erhebung und Übersetzung von Werten in Systemanforderungen im Rahmen des Value-based Engineering: Ergebnisse eines Werteworkshops zur menschenzentrierten Entwicklung eines Chatbots 228
Natalie MARTIN, Lukas HEINI, Ina SCHIEDERMAIR, Tobias KOPP, Steffen KINKEL

Potenziale und Widerstände bei der Implementierung des Digitalen Coach Intelligence: Ergebnisse einer empirischen Studie 234
Martin KRÖLL, Kristina BUROVA-KEßLER

Anforderungen an einen menschengerechten sozialen Roboter zur Unterstützung der ambulanten Suchttherapie: Vom dyadischen zum triadischen Setting 240
Hartmut SCHULZE, Stefan ADAM, Wim NIEUWENBOOM, Alexandra TANNER

Digital-driven Production – Digitale Zwillinge, VR-Gestaltung und Twin Transformation für sichere Kreislaufprozesse

Datengestützte Modellierung des End-of-Life-Managements von Photovoltaiksystemen im Kontext der Kreislaufwirtschaft 246
Ariana ELZE, Florian HAASE, Mohamed Amin BEN TOURKIA, Jan-Philipp MAI

Digitale Assistenzsysteme und künstliche Intelligenz im Arbeitsprozess

Wie beeinflussen verschiedene Formen KI-integrierender Technologien die Mensch-KI Beziehungsgestaltung? Eine systematische Literaturzusammenschau zu den Merkmalen Vertrauen, Emotionale Bindung und Soziale Präsenz 252
Michelle GEWALT, Bernd-Friedrich VOIGT

Menschliche Digitale Zwillinge zur Erfassung von Beanspruchungszuständen bei der Waldarbeit: Erkenntnisse eines Feldversuchs 258
Nikolas SCHIERHORST, Oliver BRUNNER, Martin ZIESAK, Alexander MERTENS, Verena NITSCH

Der Handrücken als Interface? Evaluierung des Handrückens als Projektionsfläche für einen virtuellen Slider mit taktilem Feedback bei der Handgestensteuerung 264
Lukas FUCHS, Daniel SIEGLE, Peter SCHMID, Thomas MAIER

Developing a method to improve human performance through task redesign and decision support system embedded in virtual reality technology 270
Hamed SALMANZADEH, Mojtaba AHMADI

Teleoperation in Rail and Tram Systems: A Scoping Review on Work Design, Roles, Tasks, and Human–Machine Interfaces 276
Alexandra NICK, Lina KLUY, Barbara DEML

Geteilte mentale Modelle in der Teamarbeit: Eine integrative Literaturanalyse zur Differenzierung zwischen Human-Human-Teams und Human-Autonomy-Teams 282
Stefan LANG, Thomas SÜßE

AI@Work – Eine Querschnittsanalyse der Auswirkungen von KI auf Personalmanagement, Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit europäischer Unternehmen 288
Gustav BÖSEHANS, Markus HARLACHER, Frank LENNINGS

Identifikation geeigneter Verfahren zur prospektiven Bewertung von Arbeitsaufgaben mit digitalen Assistenzsystemen hinsichtlich psychischer Belastung. 294
Svetlana WÄHNERT, Gritt OTT

Eignung generativer Agenten für die Prozessoptimierung in der Produktion 300
Magnus DAVID, Sven TACKENBERG, Jan-Phillip HERRMANN

Künstliche Intelligenz

Schulung neu gedacht – Extended Reality und KI-Assistenzsysteme direkt im Arbeitsprozess 306
Lutz ENGEL, Lisa GERDES

KI-gestütztes Open-Source-Tool zur Effizienzsteigerung im Lern- und Wissensmanagement 312
Jannis PFISTER, Matthias JENNER, Till GÜNTHER, Rainer MÜLLER

Zur beruflichen Nutzung generativer KI in Deutschland: Zusammenhänge mit Arbeitsmerkmalen, Autonomie und Führungsverantwortung in der Unternehmensorganisation 318
Tim KOMOROWSKI, Thomas SÜßE

Qualifikationspotenziale und -anforderungen beim Einsatz generativer Sprachmodelle: Eine Multi-Stakeholder-Analyse mit betrieblichen Akteuren 324
Anja GERLMAIER, Paul Fiete KRAMER

Operationalisierung von Wissen durch Retrieval Augmented Generation 329
Nils FEGGELER, Markus HARLACHER, Lorena NIEBUHR-HAAK, Andreas FEGGELER

Demonstratoren zur Verringerung negativer Emotionen gegenüber Künstlicher Intelligenz in der Produktion: Eigenschaften und Anforderungen auf Basis von Personas 335
Jennifer LINK, Markus HARLACHER, Sascha STOWASSER

Pfeil oder Prozent? Der Einfluss von verschiedenen Modalitäten der Unsicherheitskommunikation 341
Antonia MARKUS, Sophie KUCHENBECKER, Esther BOROWSKI, Ingrid ISENHARDT

Dos and Don'ts des EU AI Acts – Rechtliche Rahmenbedingungen für den verantwortungsvollen Einsatz von künstlicher Intelligenz im Arbeitsprozess 347
Gustav BÖSEHANS, Eva HANAU, Stella CZAK

Anwendung generativer KI zur systematischen Entwicklung von dynamischen Rotationsplänen in Produktion und Logistik 353
Dirk MARRENBACH, Oliver SCHOLTZ, Stefanie FINDEISEN

Entwicklung eines integrierten KI-Reifegradmodells für KMU – Herausforderungen und Potenziale 359
Martin KRÖLL, Kristina BUROVA-KEßLER, Athanasios VOURLAS

Erfolgsfaktoren für die betriebsspezifische Gestaltung und Einführung LLM-basierter Informationssysteme 365
Dominik GREEN, Benjamin ADRIAN, Sven HINRICHSEN

Entwicklung eines KI-Chatbots zur sicherheits- und gesundheitsgerechten Gestaltung von Coworking Spaces 371
Christoph SCHIEFER, Susanne ROSCHER

Leitfaden für den Einsatz von Virtual Reality in Kombination mit Prozesssimulationen zur kollaborativen Arbeitsgestaltung 376
David FETTER, Robert HALWAß, Michael SPITZHIRN, Tim MIELKE

Robotik

Von der Werkbank in die Datenbank: Ansätze zur Externalisierung von Erfahrungswissen in industriellen KMU im Kontext humanoider Robotik 382
Martin GERTEN, Michael HOFFMANN, Alexander MERTENS

Körpergröße und wahrgenommene Sicherheit in der Interaktion mit einem zoomorphen Roboter 388
Rebecca ERLEBACH, Sascha WISCHNIEWSKI

Sicheres Begegnen von Mensch und Roboter in simulierten Szenarien des öffentlichen Raums 394
Peter NICKEL, Anna-Maria MEER, Sven SCHNEIDER, Björn KAHL

Untersuchung manueller und roboterbasierter Sprühprozesse mittels Prozesssimulation 399
Anne-Sophie SAFFERT, Michael SPITZHIRN, Thomas LINNER

Ergonomie und physische Arbeit

Bewegungsdaten & Ergonomiebewertung

Simulation-Based Consistency Analysis between the Postural Hazard Risk Assessment Tool EAWS Part 1 and KIM-ABP 405
Hsieh-Ching CHEN, Shih-Wei CHEN

Ein Konzept zur teilautomatisierten Annotation von Bewegungsdaten für die ergonomische Bewertung von arbeitsbedingten Körperhaltungen 411
Edgar SCHERSTJANOI, Tong YIN, Svetlana WÄHNERT, Konstantin WAGNER

Evaluation objektiver Messansätze zur Erfassung der Sitzkinematik bei standardisierter Bildschirmarbeit 417
Moritz GEBERT, Alexander MERTENS, Verena NITSCH

Biomechanische Untersuchung des Hand-Arm-Schulter-Systems bei Montagearbeiten mit handgeführten Arbeitsmitteln 423
Aydin ÜNLÜ, Karsten KLUTH

Erfordernisse, Analysen und positive Beispiele für menschengerechte Arbeitsgestaltung

Arbeitsbelastung, Berufsaustritte und Personalbindung bei Schweizer Berufsfeuerwehren 429
Anne JANSEN, Christoph VOGEL

Von der Problemdefinition bis zur Evaluation: Menschengerechte Implementierung eines KI-Assistenten zur Kostenkalkulation basierend auf technischen Zeichnungen 435
Mandy WÖLKE, Philipp HEIN

Menschliche Arbeit und Künstliche Intelligenz. Selbstbestimmung oder Determinierung durch generative KI-Systeme 441
Tobias SANDERS, Lisa-Marie WINKLER, Michael UHLMANN

Ergonomiebewertung

Digitale Menschmodell-Simulation und KI-basiertes Ergonomie-Screening in der Zustelllogistik – ein praxisorientierter Vergleich 447
Patrick RUPPRECHT, Walter MAYRHOFER

Interaktive Annotation von arbeitsbedingten Körperhaltungen in Motion-Capture-Daten 453
Mathias GEWISSEN, Markus WACKER, Edgar SCHERSTJANOI

Ergonomiebewertung neu gedacht 459
Manuela OSTERMEIER, Peter KUHLANG

Standardisierte Haltungscodierung zur Bewertung ergonomischer Einflussfaktoren – Methodische Entwicklung im Projekt CoSiMMI 465
Rebecca RACK, Susanne SUTSCHET, Sven MATTHIESEN, Klaus BENGLER

Unterirdisch! Auch die Ergonomie? Mit dem Ergonomie Quick Check Potenziale an die Oberfläche befördern 471
Veronika KRETSCHMER, Semhar KINNE, Nick BIERMANN

Exoskelette

Ergonomic Exoskeleton Design Using Musculoskeletal Simulation: A Case Study on Industrial Static Forward-Leaning Tasks 477
Vishnu Kiran SURYA VAMSAM, David SCHERB, Robert WEIDNER

Iterative development of a human-machine interface combining modelling and experimental methods using the example of an ankle exosuit 483
Korinna WELTE, Jonas SCHIEBL, Ferdinand LANGER, Peter SCHMID, Mark TRÖSTER, Christophe MAUFROY, Thomas MAIER

Konzeption und Implementierungsansatz einer hybriden Architektur für ein datengesteuertes Exoskelett 489
Amir NEMATI, Chen CHEN, David SCHERB, Robert WEIDNER

Biomechanische Wirksamkeit von Exoskeletten zur Reduktion der muskuloskelettalen Belastung im Gesundheitswesen – eine Literaturübersicht 495
Mirko KAUFMANN, Ulrich HARTMANN, Albert NIENHAUS

Vorhersage menschlicher Bewegungsabläufe aus Körpermaßen – ein konzeptioneller Ansatz zur digitalen Ergonomiebewertung 501
Daniel KNICKMEIER

Nationale und internationale Ergonomie-Normung

Aktuelle Aktivitäten um die DIN EN ISO 10075 (Arbeitsbezogene psychische Belastung) und Implikationen für die betriebliche Praxis 506
Stephan SANDROCK, Martin SCHÜTTE

Ergonomie-Normung rund um die Künstliche Intelligenz – Anforderungen und aktueller Stand 511
Patricia STOCK

Aspekte der Ergonomie Normung in Österreich – Tradition und Aktuelles 517
Michael WICHTL

Physische Belastung und Beanspruchung

Kühlwesten im Einsatz gegen arbeitsbedingte Hitzebelastung: Ergebnisse einer Feldstudie im urbanen Lieferdienst 522
Elisabeth IBENTHAL, Rolf ELLEGAST

Simulation von Belastungsszenarien zur Anwendungsverbesserung der Leitmerkmalmethoden 527
Konstantin WAGNER, Svetlana WÄHNERT, Edgar SCHERSTJANOI

Risikoeinschätzung und -exposition bei Basisarbeitenden im Bereich der klima- und witterungsbedingten Belastungen – das Projekt KlimaResist 533
Georg KOLBE, Michael BAU, Andrea ALTEPOST

Kompetenzen, Qualifizierung, Arbeitszeit und Resilienz

Arbeitszeit & Arbeitszufriedenheit

Mensch-KI-Interaktion in industriellen Arbeitswelten: Eine quantitative Erhebung zur wahrgenommenen Arbeitsfähigkeit von Arbeitnehmenden im Kontext diverser KI-Anwendungen 539
Samantha WERENS, Jörg VON GARREL

Flexibilisierung vs. Souveränität. Die Debatte um Arbeitszeit und ihre Bedeutung für die Zukunft menschengerechter Arbeit 545
Norma TIEDEMANN

Inklusive Perspektiven auf menschengerechte Arbeitsgestaltung

Die Erwerbsteilhabe von Beschäftigten mit Behinderungen im Spiegel von Arbeitsbedingungen – Auswertungen auf Basis der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 551
Sophie TEBORG, Alper EKER, Vanessa VEGNER, Lena HÜNEFELD

KI-generierte Leichte Sprache zur Stärkung der Teilhabe auf dem allgemeinen Arbeitsmarkt 557
Lea GIERKE, Elena KICK, Natalie MARTIN, Tobias KOPP, Steffen KINKEL

Arbeit inklusiv denken und erfassen: Perspektiven für eine zukunftsorientierte Erwerbstätigenbefragung 563
Lena HÜNEFELD, Alper EKER, Sophie TEBORG, Anke SIEFER

Inklusive Teamarbeit im Kontext digitaler Kommunikations- technologien – Ein Projekt- und Workshopbericht 569
Franziska GREIS

Kompetenzen und Qualifizierung

Weiterbildungsbedarf von MmB in Tagesstrukturen für Tätigkeiten im Gartenbau 575
Elisabeth QUENDLER, Rebecca GUTKAS

Eine qualitative Analyse von Handlungslogiken in den Forschungs-Praxis-Systemen der Regionalen Kompetenzzentren der Arbeitsforschung 581
Jonas KUHN, Antonia MARKUS, Esther BOROWSKI, Ingrid ISENHARDT

Gamification als Türöffner: Neue Wege der Kompetenzentwicklung für den produzierenden Mittelstand 587
Oliver KEIM, Tristan SCHADY, Viola HELLGE, Frank EIERDANZ, Carolin FRITZINGER

Enhancing human-centered job design in nursing documentation with Federated Learning – A sociotechnical systems perspective 593
Valentin LANGHOLF, Luca BECKER, Rene GLITZA, Rainer MARTIN, Uta WILKENS

ErgoWork – Konzept einer menschzentrierten Lernfabrik zur praxisnahen Vermittlung ergonomischer und nachhaltiger Arbeitsgestaltung 599
Oliver BRUNNER, Michael SPITZHIRN, Philip SCHÄFER, Alexander MERTENS

Kompetenzzentrum WIRKsam

Was WIRKt? Weiterentwicklung des Arbeitssystemtests im Kompetenzzentrum WIRKsam 605
Adjan HANSEN-AMPAH, Milo REUTER, Anna GELIEV

Wirkungen KI-gestützter Prozessoptimierung aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive – Empirische Befunde aus dem Projekt WIRKsam 611
Claudia BÖTTGER, Eva HANAU, Markus HARLACHER

Künstliche Intelligenz in der betrieblichen Praxis: Aktuelle Verbreitung und zukünftige Unterstützungsbedarfe 617
Markus HARLACHER, Nils FEGGELER, Eva HANAU

Wissen in produzierenden Unternehmen KI-gestützt sichern und transferieren – Erkenntnisse aus dem Projekt WIRKsam 622
Lorena NIEBUHR-HAAK, Nils FEGGELER, Markus HARLACHER, Eva HANAU

Der Blick auf den Blick: Zur Analyse von Arbeitssystemen mit Eyetracking im Kompetenzzentrum WIRKsam 629
Vivien PÜTZ, Florian BERLIN

Menschengerechte Arbeitszeitgestaltung im Spannungsfeld zwischen Flexibilisierung und Arbeitsschutz

Menschengerechte Arbeitszeitgestaltung im Spannungsfeld zwischen Flexibilisierung und Arbeitsschutz 635
Nils BACKHAUS

Arbeitszeit im Umbruch? Ergebnisse der BAuA-Arbeitszeitbefragung zu aktuellen Reformvorhaben 640
Nils BACKHAUS, Julius KÖTTER, Johanna NOLD, Ines ENTGELMEIER

Wunsch und Wirklichkeit bei den Arbeitszeiten Ergebnisse des DGB-Index Gute Arbeit 2025 646
Rolf SCHMUCKER, Robert SINOPOLI

Konzept eines (digitalen) Plausibilitätschecks für die betriebliche Arbeitszeitgestaltung 651
Ufuk ALTUN, Veit HARTMANN

Pausenplanung als Mittel zur Einhaltung gesetzlicher Pausenvorschriften bei hoher Arbeitslast 656
Johannes WENDSCHE, Andrea LOHMANN-HAISLAH, Ina SCHÖLLGEN, Anika Daniela SCHULZ

Qualification Innovation through Network Collaboration and Technology

Digitale Qualifizierung und KI-gestützte Tätigkeitserkennung im Bau von Photovoltaik-Großanlagen – Praxisbeitrag eines industriellen Anwendungspartners im Projekt Quincy 661
Gordon HEMMING, Patrick CLEMENS, Linda SCHERER

So lernt die Baustelle mit: Wie KI und adaptive Lernplattformen die Baupraxis revolutionieren 666
Farzaneh NOROUZINIA, Jannik LOEBER, Malgorzata KOMOROWSKA, Thomas BLEISTEIN

Humanzentrierte Gestaltung digitaler Arbeit beim Bau großer Solaranlagen 672
Daniel FREITAG, Mehrach SAKI, Oliver STRÄTER

Sensorbasierte Montagearbeit als sozio-technischer Innovationsprozess 677
Elisabeth SÜßBAUER, Jonas PENTZIEN, Christian LAUTERMANN

Qualifizierung und Qualifikation

Status Quo Kompetenztransformation: Prozessualer Stillstand oder individuelle Wettbewerbsfähigkeit? 683
Philipp SCHILD, Maximilian DOMMERMUTH

Digitale Lernumgebungen in der Arbeitswelt: Evaluationsergebnisse der Lern- und Aktionsplattform LEA des Mittelstand-Digital Zentrums Kaiserslautern 689
Johanna PFENNING, Ilknur ATAKLI-AHMED, Viola HELLGE

Vom Rapid Plant Assessment zur ganzheitlichen Arbeitssystemanalyse – Implikationen für die arbeitswissenschaftliche Lehre 695
Marvin GOPPOLD, Thilo GAMBER

Future Skills Radar: Neue Ergebnisse einer Metaanalyse von Zukunftskompetenzen 701
Alexander KARAPIDIS, Bernd DWORSCHAK, Leonie KUHN, Pia MOZER, Kathrin SCHNALZER, Helmut ZAISER, Katharina HÖLZLE

Entwicklung des Zuschlagskriteriums „Befähigung zur Zusammenarbeit“ für die Partnerauswahl im Bauwesen 707
Hartmut SCHULZE, Magdalena MATEESCU, Benno SCHWEGLER

Zukünftige Jobfamilien im Ökosystem Business Events – Kompetenzprofile im Spannungsfeld von demografischem Wandel, KI und Automatisierung 713
Tilman NAUJOKS, Mara ZACCARIA, Wolfgang BEINHAUER, Stefan RIEF

Resiliente und nachhaltige Wertschöpfung für Europa (EuKoNet)

Herausforderungen standort- und grenzüberschreitender Zusammenarbeit in der europäischen Produktion 719
Tim JESKE, Nicole OTTERSBÖCK

Teamresilienz präklinischer und klinischer Teams: Eine explorative Feldstudie auf Basis von Indikatoren zu „non-technical sklills“ 725
Andreas GLATZ, Thomas MÜHLBRADT

Potenziale digitaler Technologien für die Arbeitsgestaltung in einer resilienten europäischen Schuhindustrie 731
Marina JENTSCH, Sönke KNOCH, Jonas MOHR, Delia SCHRÖDER, Valentin SEIMETZ, Dana WOLF

Resilienz

Von Momentaufnahme zu Prognose: Resilienzfaktoren und Burnout über sechs Monate 737
Jens KNISPEL, Veneta SLAVCHOVA, Viktoria ARLING

Resilience of work systems: Conducting a design science research approach to synthesize theory towards a conceptual model for manufacturing SMEs 743
Felix GÜNTHER, Thomas SÜßE

Gewappnet für den Notfall: Spielbasiertes Training für Teamresilienz 749
Simon FRONCZEK, Tobias SANDERS

Resilienzsteigerung in Unternehmen durch Sensemaking: Das Verbundprojekt SENSILIENZ 755
Judith SCHÖNER, Fabian NOWOTNY, Michael DICK

Sicherheit, Gesundheit und Belastung

Arbeitsbelastung & Gesundheit

A primary study of sleep deprivation on push and pull force for young adults 761
Shin-Min HUNG, Chao-Yin WU, Chia-Hung SU, Ying-Hao JIANG, Min-Chi CHIU

Beschäftigung und Gesundheit in der Basisarbeit – Kausalität oder Selektion? 767
Arthur KABOTH, Lena HÜNEFELD, Marcel LÜCK

Zurück an den Arbeitsplatz: Bedarfsfokussierte Teilhabe am Arbeitsleben für Menschen mit erworbenen Hirnschädigungen (BETA-MeH) 773
Regina OSRANEK, Annette BLAUDSZUN-LAHM

Arbeitssicherheit, Umwelt & Gefährdung

Arbeitssicherheit: Die 4-Rang-Methode reduziert Unfälle bei Instandhaltungsarbeiten nachhaltig 779
Peter HARTUNG

Analysis of the Risk of Head Injury When Falling Backward Using an Anthropomorphic Dummy 785
Hideki OYAMA, Hiroyasu IKEDA

Explorative Analyse des Einflusses von Schutzwesten auf die Sitzposition in taktischen Fahrzeugen 791
Jonas IMBSWEILER, Adrian MAZZOLDI, Martin SEEGER

Seeing Safety in the Field: Analytics of Visibility-Aid Use in Heavy Machinery Operation 797
Shuaixin QI, Peter NICKEL, Andy LUNGFIEL, Marino MENOZZI, Carlo MENON

Psychische Belastung in der Servicewelt

Understanding 'Jaycustomers': The causes and dynamics of difficult customer behaviour 803
Jonas WEHRMANN, Nadja DÖRFLINGER, Kai KLASMEIER

Interkulturelle Kompetenz zur Lösung von Konflikten in der Pflege 809
Christel KUMBRUCK, Annika KOPPE

Gestaltung trotz Kontrolle? – Handeln von DB-Servicekräften an Bahnhöfen in Relation zu digitalen Tools 815
Samira TERPOORTEN, Michael DICK

Der Einfluss negativer Kundenverhaltensweisen auf Burnout und Kündigungsabsichten: Die moderierende Rolle organisationaler Ressourcen 821
Jamila JANITZKY, Jonas WEHRMANN, Annette KLUGE

Psychische Belastung und Beanspruchung

Verbreitung der Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung – Ergebnisse einer Unternehmensbefragung 827
Stephan SANDROCK, Catharina STAHN

Bedeutung von und Umgang mit psychischer Gesundheit – Ergebnisse einer Umfrage in deutschen Betrieben 833
Catharina STAHN, Stephan SANDROCK

Mitarbeitenden-Bedenken und Ängste gegenüber einem Einsatz von KI im Unternehmen messen und mit partizipativen Ansätzen vermeiden 839
Tristan SCHADY, Viola HELLGE, Frank EIERDANZ, Oliver KEIM

Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastungen (GB-P) als organisationaler Lernprozess 845
Maleen HALTER, Alessa BREMS, Nadine PIECK

Herausforderungen in der Risikoquantifizierung psychischer Arbeitsbelastung 851
Yannick METZLER, Kirsten HOLLSTEIN, Fabian FRITSCH, Oliver STRÄTER

Qualitative Forschung zu Belastungserfahrungen von körperlich und psychisch stark beanspruchten Berufsgruppen 857
Thomas WIND

Safety & Security

Gestaltungsanforderungen und Implementierungsstrategien von Virtual-Reality-Schulungen in KMU der Pharmaindustrie 864
Tim KRANZ, Marikje KAUFMANN

Cyberangriffe: Folgen für die Gefährdungen im Arbeitsschutz und Auswirkungen auf die Gestaltung von menschengerechter Arbeit 870
Jamie-Lee CAMPBELL

Development of a model to quantify mental stress of different coupling modes using eye-tracking data and questionnaires 874
Florian MARSCHNER, Oliver STRÄTER, Matthias FAES

BASA Safety Score – Messung der Sicherheitskultur im Unternehmen 880
Matthias SCHMIDT

Sicherheit & Gefährdung

Validierung von Gehörgangschalldruckpegeln beim Motorradfahren durch Messungen der lokalen Anströmgeschwindigkeit am Helm im Freifeld mithilfe einer Prandtlsonde 886
Daniel SCHOLL, Karsten KLUTH

Methodik zur Bestimmung von Korrekturfaktoren für normierte Annäherungsgeschwindigkeiten an metallbearbeitenden Werkzeugmaschinen 892
Daniel GRÖLLICH, Christin MUSICK, Svetlana WÄHNERT, Martin SCHMAUDER

Erläuterungen zu den Empfehlungen des Ausschusses für Arbeitsstätten zur Beurteilung von Hitze und Kälte an Arbeitsplätzen im Freien 898
Peter BRÖDE, Birgit PIEPER, Runa T. HELLWIG

Sicher und gesund produzieren (nicht nur) in der Kreislaufwirtschaft: Unterstützungsformate für Mitarbeitende, Führungskräfte und Organisationen

Health und Safety als integraler Ansatz für moderne Arbeitsumgebungen in der Recyclingbranche 903
Ulrike PFANNENSCHMIDT

Stark belastete Berufsgruppen im Fokus der Arbeitswissenschaft

Mischarbeit – Ein Beitrag zur Systematisierung verschiedener Belastungen 908
Johannes BROMBACH

Arbeit. System. Test. Popup-Reallabore als Konsequenz des MTO-Ansatzes – Entwicklung eines Konzepts für Arbeitssystemtests 914
Andrea ALTEPOST, Adjan HANSEN-AMPAH, Michael BAU

Anforderungen und Ressourcen in der Basisarbeit 920
Susanne GEISTER

Transformation, Organisation und neue Arbeitsformen

Innovative Arbeitsorganisation und Kollaboration für Europa (EuKoNet)

Gestaltung XR-gestützter Arbeitssysteme durch Ressourcen- und Belastungsanalysen zielgerichtet vorbereiten 926
Michael BAU, Andrea ALTEPOST, Karen WACHHOLZ

Mit DiCoLab digitale Kollaboration gestalten: Vom konzeptuellen Modell zur digitalen Plattform für internationale Zusammenarbeit von KMU 932
Patrik FRÖHLICH, Janine ESSER, Stefan DIESTEL, Dominik LENZ, Florian FELDMANN, Justus VON GEIBLER

Managementsysteme

Management Perspektiven zur Gestaltung digitaler Transformation in Unternehmen. Eine Literaturreview quantitativer Studien 937
Marie Luise HERMANN, Sophia JENKEL

Mit Kompetenzmanagement regulatorische Vorgaben in KMU umsetzen 943
Anja MÜCKE, Lou BUSARELLO, Anne JANSEN

Ausgestaltung und Bewertung von Arbeitssystemen mittels Szenario-Managementansatz – Welchen Beitrag können KI-Chatbots leisten? 949
Sven TACKENBERG, Marvin GOPPOLD, Jan-Phillip HERRMANN, Sönke DUCKWITZ

Management des Großprojektes Endlagersuche im Kontext von Sicherheit und Resilienz 955
Lisa SEIDEL, Nadine SCHMIDT

Menschengerechte Gestaltung hybrider Arbeit

Soziale Zugehörigkeit als fragile Gesundheitsressource hybrider Arbeit 961
Ilana NUSSBAUM BITRAN, Guido BECKE

Zwischen Nähe und Distanz: Gestaltung alltäglicher Kooperation in hybriden Teams 967
Timo LEONTARIS, Frank KLEEMANN

Multilokales und hybrides Arbeiten

Hybrid, flexibel, kommunal: Eine Fallstudie ortsflexiblen Arbeitens 973
Patricia TEGTMEIER, Sascha WISCHNIEWSKI

Arbeitsortwahl zwischen Büro und Homeoffice: Einflussfaktoren auf die Wahl des Arbeitsortes 979
Romantika SADIKU, Adriana LAURENZANO, Kai SKLORZ, Mitja JURECIC

Hybrides Arbeiten und Bewegung – Verknüpfung von Sensor- und Befragungsdaten 985
Konstantin WECHSLER, Rolf ELLEGAST, Britta WEBER

Organisation, Führung und Partizipation

Inklusion wirksam gestalten: Was körperlich Behinderte und psychisch Erkrankte von Führung erwarten 990
Viktoria ARLING, Jens KNISPEL, Veneta SLAVCHOVA

Führung als Wahrnehmungsprozess – Ein Modell wahrnehmungszentrierter Führung im digitalen Wandel 996
Lukas BURCHARD

Beyond Tech: Human-Centered Innovation Framework 1002
Franziska HEIN-PENSEL, Sebastian SCHUHMANN

Aufstieg mit Hemmnissen: Retrospektive Analyse der Auswirkung von Feuerwehrschutzbekleidung auf die Leistungsfähigkeit von Feuerwehrfrauen und Feuerwehrmännern beim Treppensteigen 1008
Carsten SCHIFFER, Vera B. RICK, Katharina SCHÄFER, Alexander MERTENS, Verena NITSCH

Organisationsgestaltung und Transfer

Der Experimentierraum als arbeitswissenschaftliche Antwort auf die Grenzen klassischer Organisationsentwicklung 1014
Anna HOBERG, Josephine HOFMANN

Partizipationslandkarte – Systematisierung von Anlässen organisationaler Gestaltung 1020
Sibylle OLBERT-BOCK, Michael BAU, Andrea ALTEPOST, Adjan HANSEN-AMPAH

Ein Bewertungsrahmen für zuverlässige Transformationsgestaltung in Projekten und Organisationen 1026
Fabian FRITSCH, Oliver STRÄTER

Transferprozesse systematisch gestalten: Anwendung und Reflexion des Ordnungsrahmens Transfer Engineering in der Arbeitsforschung 1032
Anja KOONEN, Antonia MARKUS, Esther BOROWSKI, Ingrid ISENHARDT

Transformation im Unternehmen: Wie Mitarbeitende, Kooperation und Arbeitsgestaltung den Wandel in der Kreislaufwirtschaft prägen

Arbeitspolitische Herausforderungen in der Kreislaufwirtschaft 1038
Martin KUHLMANN, Tammo MANNOTT

Transformation, Partizipation und Co-Design

Werteorientierte Transformation: Pfade, Erfolgsfaktoren und Herausforderungen sowie Effekte von Wertearbeit 1044
Vanessa KUBEK, Delia SCHRÖDER

Realtime-Delphi für eine menschzentrierte Twin Transformation im Rheinischen Revier: Forschungsbedarfe, Potentiale und Hürden 1050
Alexander MERTENS, Katharina SCHÄFER, Oliver BRUNNER, Florens BURGERT, Sebastian BOUSCHERY, Marina FECKE, Dominik MARTIN, Martin PERAU, Dirk LÜTTGENS, Jan BITTER-KRAHE, Holger BERG, Susanne MÜTZE-NIEWÖHNER, Frank PILLER, Verena NITSCH

Connecting Minds: Digitaler Wissenstransfer zwischen Forschung und Praxis 1056
Thu Ha Claudia VUONG, Pia STÜRZEBECHER, Ben MILEWSKI

Wandel der Arbeit und Nachhaltigkeit

Gig-Work im Fokus: Eine netnographische Analyse der Bedürfnisse und Anforderungen im Plattformsektor in Deutschland 1062
Katharina SCHÄFER, Carsten SCHIFFER, Maja SCHAUB, Verena NITSCH, Alexander MERTENS

Kompetenzwandel und Fachkräftesicherung – eine empirische Untersuchung zu den Auswirkungen von KI, Automatisierung und Wertewandel auf zukünftige Arbeitsstrukturen 1068
Sophia LUX, Kristin RAABE, Lea HEINZEL

Partizipative Problemraumanalyse im organisationalen Wandel – werkstattbasierte organisationspsychologische Diagnostik 1074
David SAUER, Matthias SCHMIDT

DoktorandInnenwerkstatt

DoktorandInnenwerkstatt I

Didaktische Wirksamkeit in VR: Erfolgsfaktor für berufliche Bildung in der Pharmaindustrie? 1080
Marikje KAUFMANN

Zertifizierung als Mechanismus der Institutionalisierung normativer Leitprinzipien – Eine organisationswissenschaftliche Untersuchung am Beispiel humanzentrierter KI 1085
Katharina MORSCH

Wie Künstliche Intelligenz das kritische Denken in Teams beeinflusst: Eine experimentelle Studie 1091
Thushayanthini SIVATHEERTHAN

Förderung sinnvoller Arbeit in Unternehmen 1097
Judith SCHÖNER

DoktorandInnenwerkstatt II

Der Einfluss arbeitsbezogener Rahmenbedingungen auf kognitive Verarbeitungsmodi in kreativen Problembearbeitungsprozessen: Eine experimentelle Eye-Tracking-Studie 1101
Kirsten HOLLSTEIN, Oliver STRÄTER

Multimodal human-robot interaction in non-surgical healthcare environments 1107
Sarah FEIGL

Mehrdimensionales Änderungsmanagement von Virtual Reality-gestützten hybriden Schulungen: Eine Analyse ihrer Wirksamkeit in der Pharmaindustrie 1113
Tim KRANZ

Design, Entwicklung und Evaluation eines resilienz-orientierten Arbeitssystemmodells für produzierende KMU unter Einsatz einer interaktiven Lernumgebung zur Förderung von Resilienz in Arbeitssystemen 1118
Felix GÜNTHER

Mensch-KI-Teams: Veränderte Teamprozesse und ihre Auswirkungen auf die Teamleistung 1124
Ailina OELMUELLER

Forum Arbeitsphysiologie

Einfluss einer motorisierten Rolle auf Handkräfte beim Bewegen von Krankenhausbetten 1130
Alina BOLA, Niels HINRICHER, Chris SCHRÖER, Hendrik LUDEWIG, Claus BACKHAUS

Validierung der aeroakustischen Lärmexposition beim Motorradfahren durch Kombination von Prandtlsonden-gestützten Strömungsanalysen im Windkanal und im Freifeld 1136
Daniel SCHOLL, Karsten KLUTH

Autorenverzeichnis

Autorenverzeichnis 1142

Von Anthropologie bis Ergonomie: eine Methode zur Evaluation der menschlichen Belastung durch handwerkliche Werkzeuge

Johannes PFLEGING[1], Alice RODRIGUEZ[2], Eugénie Gauvrit ROUX[3], Radu IOVITA[2], Sylvie BEYRIES[4]

[1] Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel
Heinrich-Plett-Str. 40, D-34132 Kassel
[2] Anthrotopography Laboratory, Center for the Study of Human Origins
Department of Anthropology, New York University, New York, USA
[3] Université de Rennes, CNRS UMR 6566 CReAA
Campus de Beaulieu, Bâtiments 24/25, Labo Archéosciences
Avenue du Général Leclerc, CS 74205, F-35042 Rennes Cedex
[4] Université Côte d'Azur, CNRS UMR 7264 CEPAM
24 avenue des Diables Bleus, F-06300 Nice Cedex 4

Kurzfassung: Dieser Beitrag stellt ein multimodalen Messaufbau zur objektiven Analyse von Werkzeuggebrauch bei anthropologischen Experimenten vor, sowie ein Konzept zur Übertragung desselben auf den arbeitswissenschaftlichen Kontext. Mithilfe einer Kombination aus Kraft-Drehmoment-Messdose, Inertialsensor und videobasiertem Positions-tracking werden Bewegungen und wirkende Kräfte in Experimenten quantitativ erfasst. Dadurch lassen sich Gebrauchsspuren auf Steinwerkzeugen direkt mit konkreten Bewegungsabläufen und Kraftanforderungen verknüpfen und funktional interpretieren. Im Vergleich zu klassischen, überwiegend subjektiven Bewertungsmethoden ermöglicht dieser Ansatz eine objektive Aussage über die physiologischen Anforderungen an den Menschen beim Werkzeuggebrauch. Für arbeitswissenschaftliche Anwendungen zeigt ein abgeleitetes Konzept, wie der Messaufbau in moderne Werkzeuge integriert werden kann, um Tätigkeiten im Handwerk, im Garten- und Landschaftsbau oder im Forstbetrieb zu analysieren. Dadurch können Bewegungsabläufe, Kraft-beanspruchungen und ergonomische Belastungen quantitativ bewertet und zur fundierten ergonomischen Gefährdungsbeurteilung sowie zur Gestaltung menschengerechter Arbeitsmittel genutzt werden.

Schlüsselwörter: Gebrauchspurenanalyse, Werkzeuggebrauch, Ergonomie, Motion-Capture, Kraftmessdose, Sensoren

1. Hintergrund

Archäologie und Anthropologie widmen sich der Erforschung der menschlichen Evolution und des frühzeitlichen Verhaltens. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Analyse von Steinwerkzeugen, die über lange Zeiträume hinweg als technologische Begleiter des Menschen fungierten. Aufgrund ihrer hohen Widerstandsfähigkeit gegenüber Verwitterung und biologischem Abbau sind sie in großer Zahl überliefert und liefern somit wichtige Hinweise auf das technische Können und die alltäglichen Praktiken frühzeitlicher Kulturen. Eine zentrale Herausforderung in der Interpretation solcher Funde besteht jedoch in der Rekonstruktion ihrer konkreten Nutzungsweise.

Zur genaueren Bestimmung des ursprünglichen Verwendungszwecks bedienen sich die Experten unterschiedlicher Methoden. Neben der Untersuchung von From und Gestalt der Werkzeuge selbst oder von weitereren Fundstücke in nächster Umgebung zum Werkzeug, kommt auch die archäologische Gebrauchsspurenanalyse zum Einsatz (siehe Abbildung 1). Diese Methode untersucht mikroskopisch kleine Spuren auf der Oberfläche von Werkzeugen, die durch deren Gebrauch entstanden sind – etwa in Form von Polituren, Auskerbungen, Riefen oder Grübchen. Die Art, Ausprägung und Verteilung dieser Spuren erlaubt Rückschlüsse auf die beim Einsatz des Werkzeugs wirkenden Kräfte und Bewegungsrichtungen, also auf die zugrunde liegende Kinematik und Dynamik beim Werkzeuggebrauch Semenov (1964).

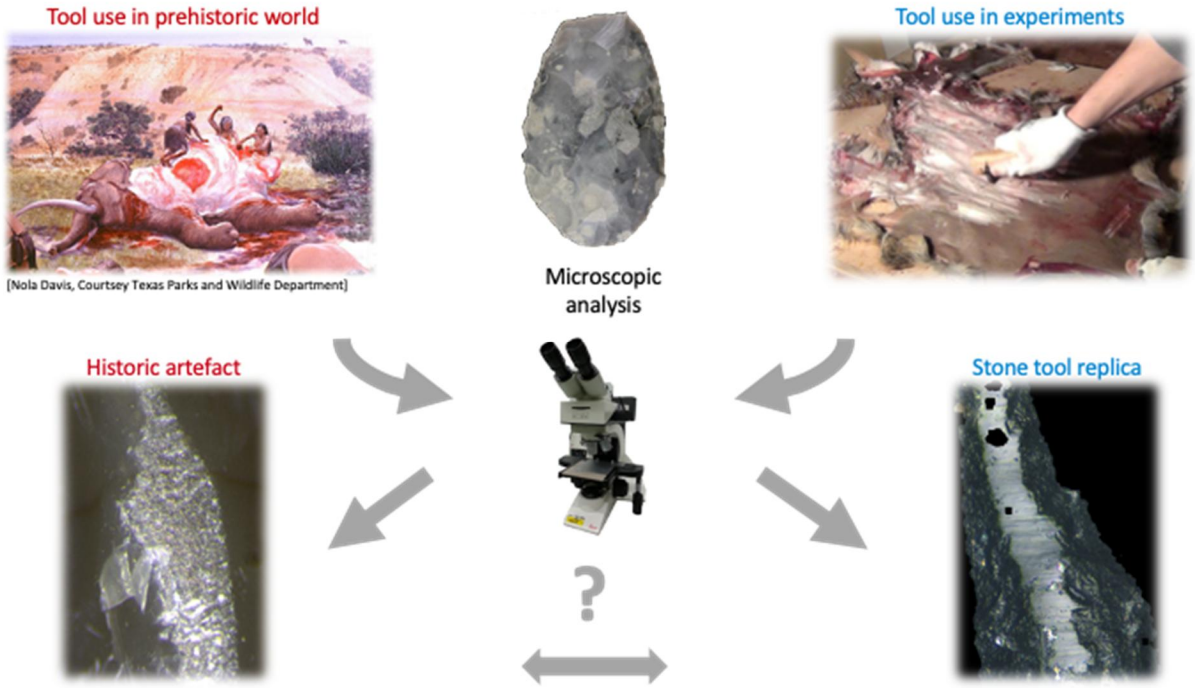


Abbildung 1: *Prinzip der Gebrauchsspurenanalyse in der Archäologie.*

In Vergleichsexperimenten werden solche Gebrauchsspuren auf Werkzeug-Replikaten von Probanden bei genau festgelegten Tätigkeiten reproduziert. In manchen Fällen wird die Tätigkeitsausführung mit Hilfe von Bewegungs- und Kraftsensoren aufgezeichnet. Ein wesentlicher Vorteil solcher Messungen besteht darin, dass sich die entstehenden Gebrauchsspuren auf dem Werkzeug direkt mit den gemessenen Bewegungs- und Kraftgrößen in Beziehung setzen lassen. Damit kann ein direkter funktionaler Zusammenhang zwischen spezifischen Spurenmerkmalen und konkreten Werkzeugbewegungen hergestellt werden – ohne dass subjektive Einflüsse der experimentellen Versuchspersonen die Interpretation verfälschen. So lassen sich beispielsweise Änderungen im Anstellwinkel der Werkzeugspitze, Variationen der aufgebrachten Anpresskraft oder Unterschiede in der Geschwindigkeit während der Kontaktphase zuverlässig identifizieren und mit den resultierenden Mikrospuren korrelieren. Beispiele für den Einsatz einer kombinierten Kraft- und Bewegungsmessung finden sich in Gaudzinski-Windheuser et al. (2018). Darin wurden Trajektorien von Speerstößen mit den Micro-CT-Scans der im Experiment erzeugten Perforationen korreliert, was den Speerwurf als Jagdmethode ausschließen konnte. In Pfleging et al. (2015) zeigten ähnliche Messungen Schlüsselmerkmale zwischen zwei verschiedenen Werkzeuggriffarten bei der Fellbearbeitung auf.

Vor einer sehr ähnlichen Problemstellung wie den beschriebenen Forschungsfragen der Archäologen, sehen sich Arbeitswissenschaftler bei der Gefährdungsbeurteilung von manuellen Arbeitsplätzen wieder. Gerade bei physisch belastenden Tätigkeiten ist eine objektive Bewertung der Ergonomie von zentraler Bedeutung. Im Spannungsfeld zwischen Konkurrenzdruck und zumutbarer Belastung des Arbeitnehmers gilt es Aussagen von Arbeitgeberseite, wie: „Wir haben schon immer mit diesem Hammer gearbeitet; er hat noch keinem geschadet.“, mit Hilfe von neutralen Messwerten entgegenzuwirken.

Der Gebrauch von Motion-Capture-Systemen zur Ergonomie-Bewertung in Form von Bewegungsanzügen, die die Bewegung des Körpers inklusive aller Gliedmaßen aufzeichnen ist mittlerweile etabliert Rybnikár et al. (2022). Teilweise werden solche Messungen mit Eye-Tracking-Verfahren kombiniert Keller et al. (2021). Weniger verbreitet ist die Betrachtung der Trajektorien einzelner Werkzeuge bei Ausübung der Arbeit. Bewegungsanzüge verfügen teilweise zwar über die Möglichkeit in der Hand gehaltener Objekte mit zu tracken, die resultierenden Positionstrajektorien unterliegen jedoch häufig einem hohen Driftanteil. Messungen von Griffkräften direkt am Werkzeug über Drucksensoren mittels instrumentierter Handschuhe Kong & Lowe (2005) oder in das Werkzeug integrierter Kraftsensoren sind bereits in einer Vielzahl dokumentiert, wie z. B. in Landry et al. (2021) oder McGorry (2001). Kraftmessungen in Kombination mit Bewegungsmessungen des spezifischen Werkzeugs hingegen, sind typischerweise nicht Bestanteil von ergonomischen Bewertungsverfahren. Diese Lücke in der betrieblichen Datenerhebung zur Ergonomiebewertung wollen wir mit unserem dynamischen Motion-Capture-System füllen.

2. Dynamisches Motion-Capture

Das in diesem Konzeptbeitrag beschriebene Messsystem erfasst zeitsynchron die auf das Werkzeug wirkenden Kräfte und Drehmomente als auch seine kinematischen Starrkörpergrößen über den gesamten Verlauf der Tätigkeit hinweg. Das System wurde in Anlehnung an die eingangs beschriebenen Herausforderungen bei der Rekonstruktion prähistorischen Werkzeuggebrauchs entwickelt.

Unser Konzept sieht den Einsatz von drei verschiedenen Sensortypen vor: ein sechs-achsiger Kraft-Drehmoment-Sensor (FT-Sensor), ein Inertialsensor (IMU) sowie ein Positions-Tracker, basierend auf optischen QR-Markern. Jeder dieser Sensoren liefert unabhängige Messgrößen: Der FT-Sensor erfasst dreidimensionale Kräfte und Drehmomente an der Werkzeugspitze, die IMU misst Beschleunigungen und Rotationsgeschwindigkeiten, und das optische Trackingsystem bestimmt die absolute Position und Orientierung des Werkzeugs im Raum aus denen sich auch die Geschwindigkeit abschätzen lässt. Damit zuverlässige Messungen durchgeführt werden können, müssen der FT-Sensor in das Werkzeug integriert und die IMU und der QR-Marker an ihm fixiert werden. Das Tracking des QR-Markers erfolgt über eine Kamera, die im Umfeld des Arbeitsplatzes aufgestellt wird und einer Software zur Berechnung der Koordinaten anhand der aufgezeichneten Videosequenzen.

Diese Kombination der drei Sensortypen erlaubt eine vollständige Beschreibung der kinematischen und dynamischen Größen, die während der Nutzung auf das Werkzeug wirken – und zwar in einer räumlich und zeitlich hochauflösenden Qualität. Auf diese Weise lassen sich die mechanischen Interaktionen zwischen Nutzer, Werkzeug und Werkstück präzise rekonstruieren. Die erfassten Daten können sowohl in Echtzeit vi-

sualisiert als auch nachträglich detailliert ausgewertet werden, was eine objektive Rekonstruktion des gesamten Bewegungsablaufs der Tätigkeit am Arbeitsplatz ermöglicht (siehe Abbildung).

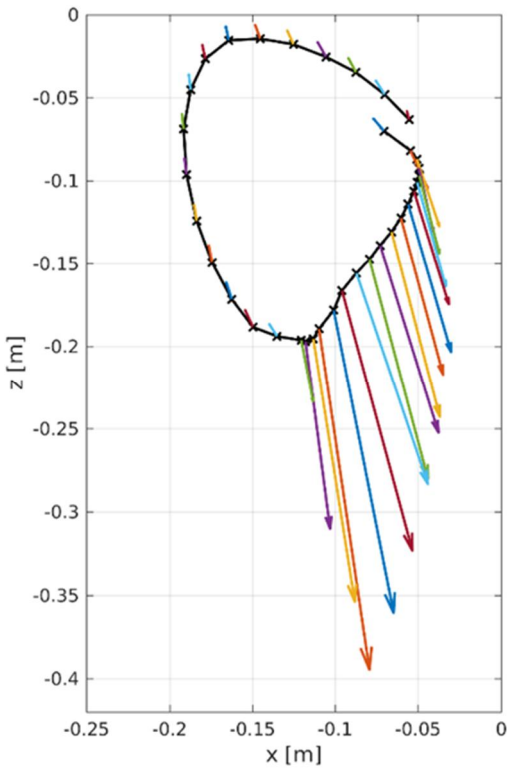


***Abbildung 1:**: Trajektoriendarstellung der Messgrößen Position und Kraft (Pfeile) eines Zyklus bei der Fellbearbeitung aufgenommen mit unserem Messsystem.*

3. Übertragung auf Ergonomiebewertung

Die Vorteile des vorgestellten Motion-Capture Systems für ethnographische Studien zum frühzeitlichen Werkzeuggebrauch liegen auf der Hand: da alle kinematischen und dynamischen Größen am Werkzeug erfasst werden, sind alle Einflussgrößen auf die Gebrauchsspuren bekannt und die beobachteten Abnutzungsmuster werden erklärbar. Auf ähnliche Weise kann unser Messsystem auch bei Ergonomischen Untersuchungen für Aufklärung sorgen. Subjektive Einschätzungen der Probanden, wie: „Der einhändige Griff fühlt sich anstrengender an.“, sind für die Auswertung nun nicht mehr notwendig oder können anhand der Messungen verifiziert werden.

Mögliche Anwendungen des beschriebenen Messsystems für Ergonomie-bewertungen bieten sich überall dort wo Werkzeuge mit der Hand frei geführt werden und bei der Interaktion mit der Umgebung signifikante Kontaktkräfte auftreten. Die Messungen erlauben es, neben den Kräften die über das Werkzeug auf den Nutzer wirken, auch die Trajektorien vor, während und nach der Interaktion mit dem Werkstück zu evaluieren. In Kombination mit einem Bewegungsmessanzug ergibt sich somit eine gesamthafte Betrachtung der Tätigkeit, die neben der eingenommenen Haltung auch die in den Körper eingeleiteten Kräfte und die Halteposition des Werkzeugs beinhaltet. Die Betrachtung der Messgrößen am Werkzeug kann dabei als Erklärung für bestimme Zwangshaltungen dienen oder Aufschluss über Wirksamkeit und Effektivität der Werk-

zeuge geben. Mit Hilfe der Messdaten des Beschleunigungssensors können außerdem Aussagen zur Vibrationsbelastung durch das Werkzeugs gemacht werden. Darüber hinaus ergeben sich mit unserem System bei bestimmten Tätigkeiten auch Einsatzmöglichkeiten zu Übungs- und Trainings-zwecken. Beispiele für solche Tätigkeiten mit handgeführten Werkzeugen und relevanter ergonomischer Merkmale sind:

1. Schrauben und Bohren: Der Akkuschrauber oder Bohrer muss präzise an das Bohrloch geführt werden; der Haltegriff und die Kontaktkräfte dürfen nicht zu ungünstigen Hand-Arm-Haltungen oder Verkrampfungen führen; die Vibrationen an Hand und Arm dürfen Grenzwerte nicht überschreiten;
2. Schleifen und Polieren: Hohe Kontaktkräfte können zu frühzeitiger Ermüdung führen; die Trajektorien des Schleifgeräts haben Einfluss auf das Resultat des Schleifens oder Polierens; die Vibrationen an Hand und Arm dürfen Grenzwerte nicht überschreiten; die Betrachtung der Bewegungstrajektorie kann zu Trainingszwecken verwendet werden;
3. Lackieren: Große Arbeitsräume resultieren in einem großem Bewegungss-pielraum; das Bedienen der Lackierpistole erzeugt hohe rückwirkende Kräfte; die Betrachtung der Bewegungstrajektorie kann zu Trainingszwecken verwendet werden;
4. Schweißen: das Bedienen des Schweißbrenners erzeugt hohe rückwirkende Kräfte; präzise Führung des Brenners kann zu einer verkrampften Zwangshaltung führen; die Betrachtung der Bewegungstrajektorie kann zu Trainingszwecken verwendet werden;
5. Baum- und Heckenschneiden: ein hohes Eigengewicht und ein hoher Hebelarm der Heckenschere bei ungünstiger Führung derselben führt zu Ermüdung der Arme und Schultern des Nutzers; das Design einer mechanischen Schere hat Einfluss auf die erzielbaren Schnittkräfte.

Ein Nachteil des beschriebenen Messaufbaus liegt in der aufwendigen Übertragbarkeit auf neue Werkzeuge da der Kraftsensor in das jeweilige Werkzeug mechanisch integriert werden muss. Darüber hinaus ist aus Konstruktionsgründen nicht jedes Werkzeug für die Integration geeignet. Für die Zukunft gilt es diese und ähnliche Schwachstellen durch Weiterentwicklungen auszubessern und das Messsystem auch in Kombination mit Messanzügen an realen Arbeitsplätzen zu validieren. Als kommerzielles Produkt hat dynamisches Motion-Capture das Potential zukünftig wertvolle Beiträge zur Ergonomiebewertung in der betrieblichen Praxis zu leisten.

4. Literatur

Gaudzinski-Windheuser S, Noack ES, Pop E, Herbst C, Pfleging J, Buchli J, Jacob A, Enzmann F, Kindler L, Iovita R, Street M, & Roebroeks W. (2018). Evidence for close-range hunting by last interglacial Neanderthals. *Nature Ecology & Evolution*, *2*(7), 1087–1092. https://doi.org/10.1038/s41559-018-0596-1

Keller T, Bayer C, Metternich J, Saki M, Schmidt S, Sträter O, Anlauft W, & Hartwich H-D. (2021). Integration eines digitalen Assistenzsystems für die industrielle Montage. In T. Jeske & F. Lennings (Hrsg.), *Produktivitätsmanagement 4.0: Praxiserprobte Vorgehensweisen zur Nutzung der Digitalisierung in der Industrie* (S. 115–146). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61584-3_5

Kong Y-K, & Lowe BD. (2005). Evaluation of handle diameters and orientations in a maximum torque task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *35*(12), 1073–1084. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2005.04.009

Landry C, Loewen D, Rao H, Pinto BL, Bahensky R, & Chandrashekar N. (2021). Isolating In-Situ Grip and Push Force Distribution from Hand-Handle Contact Pressure with an Industrial Electric Nutrunner. *Sensors*, *21*(23), 8120. https://doi.org/10.3390/s21238120

McGorry RW. (2001). A system for the measurement of grip forces and applied moments during hand tool use. *Applied Ergonomics*, *32*(3), 271–279. https://doi.org/10.1016/S0003-6870(00)00062-4

Pfleging J, Stücheli M, Iovita R, & Buchli J. (2015). Dynamic monitoring reveals motor task characteristics in prehistoric technical gestures. *PLoS ONE*, *10*(8), e0134570. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134570

Rybnikár F, Kačerová I, Hořejší P, & Šimon M. (2022). Ergonomics Evaluation Using Motion Capture Technology—Literature Review. *Applied Sciences*, *13*(1), 162. https://doi.org/10.3390/app13010162

Semenov SA. (1964). *Prehistoric technology: An experimental study of the oldest tools and artefacts from traces of manufacture and wear* (Russian ed. 1957 transl. by M. W. Thompson). Cory, Adams & Mackay.

Building Information Modeling in frühen Phasen der Bauplanung: Welchen Nutzen bieten BIM-Tools für die Zusammenarbeit?

Eric BUNSE, Fabian WILLEMSEN, Timon HAILU, Susanne MÜTZE-NIEWÖHNER

Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen
Eilfschornsteinstraße 18, D-52062 Aachen

Kurzfassung: Mit Hilfe von BIM soll die Zusammenarbeit in komplexen Bauprojekten unterstützt werden. Wie die Ergebnisse einer schriftlichen Befragung zeigen, beurteilen BIM-Nutzende die Unterstützungsqualität von BIM-Softwaretools eher positiv. Gleichzeitig belegen aktuelle Studien allerdings eine geringe Verbreitung von BIM in Deutschland. Eine ebenfalls im Beitrag vorgestellte Interviewstudie mit BIM-Anwender*innen liefert konkretere Hinweise auf Nutzenpotenziale und Risiken, die es bei der Gestaltung der Arbeit mit BIM zu beachten gilt. So stehen z.B. den Vorteilen einer frühen Abstimmung komplexer Anforderungen und einer verbesserten Kommunikation am visualisierten Modell Risiken gegenüber, die vor allem kleine Unternehmen abschrecken können, wie z.B. der erhöhte Aufwand in frühen Phasen ohne die Sicherheit einer Beteiligung in späten Phasen.

Schlüsselwörter: Bauplanung, BIM, Interdisziplinäre Zusammenarbeit

1. Einleitung

Bauprojekte unterliegen zahlreichen Ansprüchen und Regularien. Aspekte wie Energieeffizienz, Nachhaltigkeit und intelligente Gebäudetechnik führen zu einer wachsenden Komplexität, die nur durch das Zusammenspiel einer Vielzahl von spezialisierten Fachdisziplinen aus verschiedenen Organisationen bewältigt werden kann (Dainty et al. 2005). Gerade die interdisziplinäre und interorganisationale Zusammenarbeit ist allerdings mit Herausforderungen verbunden (Bunse et al. 2025; Oraee et al. 2019; Rothenbusch & Kauffeld 2020).

Der Einsatz von Building Information Modeling (BIM) soll Beteiligte in Bauprojekten dabei unterstützen, diese Herausforderungen zu bewältigen (Cao et al. 2017). BIM bezeichnet den Prozess der kollaborativen Erstellung, Nutzung und Weitergabe eines digitalen Bauwerksmodells über den gesamten Lebenszyklus (Borrmann et al. 2021). Durch die Integration der verschiedenen Teilplanungen der beteiligten Fachdisziplinen in einem zentralen Modell können die Transparenz erhöht, der Informationsaustausch vereinfacht und Planungskonflikte frühzeitig visualisiert und behoben werden (Ahankoob et al. 2020).

Die Umsetzung von BIM setzt den Einsatz von spezifischen Softwaresystemen oder Plattformen voraus (im Weiteren kurz: BIM-Tools oder -Werkzeuge). Die Entwicklung eines BIM-Tools für die frühe Bauplanungsphase war Gegenstand des Verbundprojekts novaBIM. In einer bereits veröffentlichten Studie zur digital-gestützten Kooperation in der Bauplanung beurteilten die Befragten die eingesetzten BIM-Werkzeuge im Hinblick auf ihre Wirkung auf die Zusammenarbeit mehrheitlich (eher) positiv (Bunse et al. 2025). Trotz der bestehenden Potenziale wird BIM in Deutschland bisher allerdings nur zurückhaltend eingesetzt (Bundesarchitekten-kammer 2023; Bitkom e.V. 2025). Aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive stellt sich

daher die Frage, wie die Arbeit mit BIM-Tools gestaltet werden muss, damit die Potenziale von BIM ausgeschöpft und die Hürden für die Nutzung abgebaut werden können.

Im Projekt novaBIM bot sich zunächst die Möglichkeit, die bereits publizierten Items zur Beurteilung der Unterstützungsqualität von BIM-Werkzeugen (Bunse et al. 2025) im Rahmen einer Online-Befragung weiteren BIM-Anwender*innen zu stellen. Darüber hinaus wurden Interviews mit BIM-Nutzenden geführt, um konkrete Ansatzpunkte für Gestaltungsmaßnahmen zu erhalten und auf diese Weise einen Beitrag zur Beantwortung der oben genannten Frage leisten zu können.

2. Methoden und Stichproben

In einer schriftlichen Befragung zur Kooperation in digital-gestützten Entwicklungsprojekten wurden u. a. Daten zu den eingesetzten BIM-Werkzeugen erhoben. Die Teilnehmenden beantworteten Items zur Aufgabenangemessenheit, Individualisierbarkeit und zum Lernaufwand von BIM-Tools (Prümper und Anft 1993) sowie zur wahrgenommenen Qualität der Unterstützung in Bezug auf verschiedene Teildimensionen der Zusammenarbeit in Bauprojekten auf einer 6-stufigen-Likertskala (1 = „*trifft gar nicht zu*“ bis 6 = „*trifft voll und ganz zu*“). Nach Ausschluss von sechs Fällen mit geringerer Datenqualität umfasst der ausgewertete Datensatz Daten von *n* = 19 Teilnehmenden, die angegeben haben, BIM bereits in Bauprojekten eingesetzt zu haben.

Mittels semistrukturierter Interviews wurden darüber hinaus qualitative Daten zur Beantwortung der Fragestellung erhoben. Die Befragten wurden gebeten, an ein Projekt zu denken, bei welchem sie BIM selbst genutzt haben. Der Leitfaden umfasste insbesondere Fragen zu den in Bauplanungsprojekten besonders herausfordernden Kollaborationsdimensionen wie Informationsaustausch, Wissensintegration, Koordination und Kommunikation sowie zur Unterstützung dieser Aspekte durch BIM. Insgesamt wurden acht Interviews (*n* = 2 weiblich, *n* = 6 männlich) mit Personen mit unterschiedlichen Rollen/Funktionen in Bauplanungsprojekten geführt (Architekt*innen/Objektplanende: I1, I4, I7 und I8; Fabrik-/Fachplanende: I5; Change-Manager*in: I6; Gebäudenutzende: I2 und I3). Die Interviews wurden aufgezeichnet, transkribiert und mittels qualitativer Inhaltsanalyse im Hinblick auf Nutzenpotenziale und Risiken bei der BIM-gestützten Zusammenarbeit ausgewertet. Bei der Analyse wurden die Kollaborationsdimensionen als Kategorien verwendet. Dabei wurde die Kategorie „Informationsaustausch“ zur besseren Abgrenzung von der Kategorie „Koordination & Kommunikation“ durch die Bezeichnung „Datenaustausch & -verarbeitung“ ersetzt.

3. Ergebnisse

3.1 Bewertung der Unterstützungsqualität von BIM-Werkzeugen (Fragebogen)

Die Ergebnisse der Auswertung der quantitativen Erhebung der Unterstützungsqualität von BIM-Werkzeugen sind in Abbildung 1 dargestellt. Die Befragten bewerteten den überwiegenden Teil der positiv formulierten Aussagen als zutreffend, in den meisten Fällen überwiegt die verhaltene Zustimmung („stimme eher

zu“). Deutliche Ablehnung erfuhr die Aussage, die eingesetzten BIM-Werkzeuge seien leicht zu erlernen.

Itemtext	MW	StAbw
Die eingesetzten BIM-Werkzeuge bieten alle Funktionen, um die anfallenden Aufgaben effizient zu erledigen.	4.47	0.96
Die eingesetzten BIM-Werkzeuge sind gut auf die Anforderungen meiner Arbeitsaufgabe zugeschnitten.	4.58	0.77
Die eingesetzten BIM-Werkzeuge lassen sich gut an meine individuelle Art der Arbeitserledigung anpassen.	4.26	0.73
Die eingesetzten BIM-Werkzeuge sind schnell zu erlernen.*	2.68	1.16
Die eingesetzten BIM-Werkzeuge unterstützen eine transparente Darstellung der Projektzusammensetzung.	4.37	0.96
Die eingesetzten BIM-Werkzeuge unterstützen eine transparente Darstellung des Projektablaufs.	4.42	1.02
Die eingesetzten BIM-Werkzeuge unterstützen die Bereitstellung von Informationen.	4.42	1.07
Die eingesetzten BIM-Werkzeuge unterstützen die Sicherstellung eines transparenten Informationsprozesses.	4.58	1.12
Die eingesetzten BIM-Werkzeuge unterstützen die interdisziplinäre Zusammenarbeit.	4.53	0.90
Die eingesetzten BIM-Werkzeuge unterstützen die Zusammenarbeit mit dem Bauherrn.	4.11	1.05
Die BIM-basierte Zusammenarbeit mit den anderen am Projekt Beteiligten funktioniert gut.	4.21	1.18

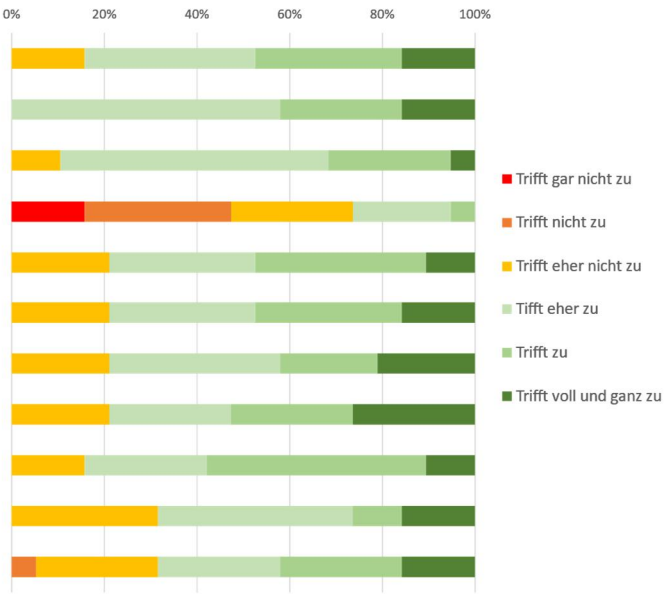


***Abbildung 1:**: Ergebnisse der quantitativen Studie zur Unterstützungsqualität von BIM-Werkzeugen (n = 19; *inverse Items wurden bei der Auswertung rekodiert).*

3.2 Potenziale und Risiken bei der BIM-gestützten Zusammenarbeit (Interviews)

Die Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse sowie ausgewählte Zitate sind in Tabelle 1 dargestellt. Es wird deutlich, dass mit dem Einsatz von BIM sowohl Nutzenpotenziale als auch Risiken verbunden sind. Besonders interessante Ergebnisse werden im Folgenden diskutiert.

4. Diskussion und Implikationen

Die Ergebnisse der Fragebogenstudie korrespondieren mit den Ergebnissen einer vorangegangenen Studie (Bunse et al. 2025). Wenngleich die Beurteilung von Aspekten der Gebrauchstauglichkeit und der Unterstützungsqualität der eingesetzten BIM-Werkzeuge insgesamt (eher) positiv ausfällt, lässt die oft nur verhaltene Zustimmung durchaus noch auf bestehende Verbesserungspotenziale schließen. Offensichtlicher Gestaltungsbedarf besteht hinsichtlich der Erlernbarkeit der Systeme: Mehr als 70% der Befragten widersprechen der Aussage, die eingesetzten BIM-Werkzeuge seien leicht zu erlernen. In Verbindung mit den Ergebnissen der Interviewstudie erhält dieser durchaus bekannte Nachteil eine besondere Relevanz für den Abbau von Hürden, die dem Einsatz von BIM entgegenstehen. In frühen Phasen der Bauplanung ist nicht zwingend klar, ob die Beteiligten auch in späteren Projektphasen mit einer Leistungserbringung beauftragt werden. Fallen gerade in frühen Phasen erhöhte personelle Aufwände für die Einarbeitung in die BIM-Software oder auch für die Modellierung selbst an, wie es in BIM-Projekten laut der Befragten der Fall ist, bedeuten diese Mehraufwände gerade für kleine Unternehmen und Handwerksbetriebe ein nicht unerhebliches finanzielles Risiko.

Tabelle 1: *Nutzenpotenziale und Risiken beim Einsatz von BIM hinsichtlich der Zusammenarbeit in Bauprojekten.*

	Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse		Interviewauszüge
Datenaustausch & -verarbeitung	Nutzen	• Verbesserte geometrische Prüfung im 3D-Gesamtmodell • Standardisiertes Austauschformat (IFC) zwischen verschiedenen Softwaremodulen • Aufwandsreduktion in späteren Phasen durch frühzeitige Planungstiefe • Automatisierte Massen- und Kostenermittlung	*„Das war [ein] reines BIM-Projekt. […] Da hatten wir 12 […] [Organisationen], die gemeinsam in Richtung des neuen Objektes die Inhalte liefern mussten. […], also ich weiß nicht, wie ich es mit einer Excel-Datei hätte schaffen sollen […]*“ (I5) *„Und das führt dann […] natürlich auch zu Mehraufwänden, die du in den ersten Leistungsphasen hast, die du dafür in den späteren nicht hast. Aber manchmal weißt du auch nicht, ob du für die [s]päteren [Leistungsphasen] beauftragt wirst, dann ist es halt eben ungünstig, wenn du so früh schon so viel Aufwand reinsteckst.*“ (I8)
	Risiken	• Erhöhter Aufwand in frühen Phasen ohne Sicherheit der Beteiligung in späten Phasen • Überfrachtung und Überdetaillierung des Modells • Kompatibilität und Ausschluss: Alle Beteiligten müssen BIM (open BIM) oder gleiche BIM-Software (closed BIM) nutzen	
Koordination & Kommunikation	Nutzen	• Transparente Fehlerdokumentation • Klare Aufgabenzuordnung und -definition • Visualisierung von Planungsproblemen zur Unterstützung der Problemlösung • Unterstützung der Kommunikation mit Planungsbeteiligten und Dritten durch Visualisierung • Kollisionsfreiheit und Fehlervermeidung durch gemeinsames Koordinationsmodell • Frühe Anforderungskommunikation und -abstimmung	*„Aber es ist schon [eine] große Unterstützung in der Kommunikation der Themen, weil du halt eben den beteiligten Planern, Kunden etc. daran viel besser Dinge erläutern kannst, die nicht gut funktionieren, Ideen, die nicht klappen und so weiter.*“ (I8) “*[…] da habe ich die Erfahrung gemacht, […] das Telefon in die Hand zu nehmen und erst mal das Problem mit den, […] Beteiligten zu klären, bringt mehr als wenn ich 'ne E-Mail schreibe, […] oder bringt mehr, als wenn ich bis zum nächsten Jour Fixe warte oder wenn ich in einem BIM Modell [einen] B.C.F. Punkt irgendwo reinsetze und bei der nächsten Data Drop Prüfung der BIM Manager entdeckt, oh, ist dieser Punkt gelöst, Checkliste, Haken; nein, ist nicht gelöst, B.C.F. wieder zurück*.“ (I7)
	Risiken	• Dominanz der digitalen Kommunikation gegenüber persönlicher Kommunikation • Überborden von Notizen am Modell (Informationsflut) • Mangelnde Entscheidungsdokumentation • Neue Rollen steigern die Anzahl der Projektbeteiligten	
Wissensintegration	Nutzen	• Frühe Berücksichtigung unterschiedlicher Anforderungen • Gegenseitiges Verständnis • Kreative Unterstützung durch Visualisierung	*„Wenn das alles funktioniert, dann ist das echt super cool, weil man dann halt in so einem richtig coolen partizipativen Prozess mit den Nutzern quasi diesen Grundriss [erstellen kann] […].*“ (I4) *„[…], dass wir als Institut als Nutzer sozusagen so gut wie möglich vorbereitet sind, wenn es dann mit den Planern in die Gesprächsrunden geht. […] [Damit] unsere Vorstellungen, wenn [sie] realisierbar [sind] […], dass [diese] dann schon so früh einfließ[en]*“ (I2) *„[…] die Gefahr […] ist, dass du dich viel zu sehr nur noch mit BIM beschäftigst, aber nicht mehr mit dem, was wir eigentlich machen wollen, nämlich qualitätvolle Umgebungen schaffen, in denen Menschen arbeiten, in denen Menschen leben*“ (I8)
	Risiken	• Fokusverschiebung von gestalterischer Qualität zu technischer Richtigkeit • Hoher Aufwand für Nachmodellierung von Bestandsgebäuden (Nachmodellierung des Bestandes) • Ablenkung vom Gesamtbild durch Detailinformationen	

Das Risiko unbezahlter Zusatzaufwände besteht auch für Unternehmen, die bereits BIM-Erfahrungen besitzen, insbesondere dann, wenn BIM-Werkzeuge anderer Systemhersteller aufgrund von Projektanforderungen genutzt werden müssen (closed BIM). Um vor allem kleine Unternehmen gegenüber diesen Risiken abzusichern, sollten zum einen entsprechende Vergütungen für die Planung mit BIM in den frühen Bauplanungsphasen vorgesehen werden. Zum anderen sollte die Nutzbarkeit neutraler Austauschformate zwischen BIM-Systemen verschiedener Hersteller verbessert werden. Denkbar sind auch Schnittstellen zu etablierten Anwendungen (wie MS Excel) oder leicht zu bedienenden Web-Anwendungen (s. Rothenbusch & Kauffeld 2020), um z.B. auch Handwerksbetrieben einen niederschwelligen Einstieg in BIM-basierte Kooperationen und eine aufwandsarme Einbringung von Daten in

frühen Planungsphasen zu ermöglichen. Die zahlreichen Nutzenpotenziale durch die Visualisierung des Modells könnten nach wie vor ausgeschöpft werden, wenn BIM-erfahrene Partner das Modell in gemeinsamen Workshops teilen.

Um dedizierte Gestaltungsempfehlungen für die Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit spezifischer BIM-Werkzeuge ableiten zu können, sind Usability-Studien mit unterschiedlichen Nutzergruppen und Anwendungsfällen notwendig. Hier sind auch Systemanbieter gefordert, entsprechende Studien zu initiieren bzw. (ergebnisoffen) zu beauftragen.

In Einklang mit der eingangs zitierten Literatur weisen sowohl die quantitativen als auch die qualitativen Ergebnisse auf diverse Potenziale von BIM hin, die die Sicherung eines transparenten Informationsaustauschs betreffen und hier nicht wiederholt werden müssen. Die Aussagen der Befragten legen darüber hinaus nahe, dass BIM-Werkzeuge nicht nur für den reinen Datenaustausch, sondern auch für die direkte Kommunikation und den Wissenstransfer Unterstützung bieten. Dementgegen steht das Risiko, dass durch eine zu starke Fokussierung auf den reinen Datenaustausch und das Datenmodell die als ebenfalls wichtig erachtete persönliche Kommunikation sowie die kooperative Gestaltung von qualitativ hochwertigen Bauwerken zeitlich und inhaltlich verdrängt werden. Auch mit Daten und/oder Notizen überfrachtete Modelle stellen aus Sicht von Befragten ein Risiko dar. Hier können klar kommunizierte Vereinbarungen, softwareseitige Filterfunktionen sowie adaptive Systeme Abhilfe schaffen, die eine nutzer- oder ggf. sogar intelligent gesteuerte Anpassung an die jeweilige Phase respektive den Planungsfortschritt erlauben, sodass nur die jeweils relevanten Daten und Informationen erfasst bzw. angezeigt werden. Des Weiteren sollten Zeiträume für die persönliche, direkte Kommunikation und die kreative Gestaltung im Team fest im Projektplan verankert sein. Im Vorfeld oder zu Beginn persönlicher Treffen empfiehlt es sich, einen Prozess zu definieren, der die anschließende Übertragung der Ergebnisse (Entscheidungen, Informationen etc.) in das Modell sicherstellt. Weiterführende Studien könnten die verschiedenen Prozesse der Kommunikation bzw. des Informations- und Datenaustauschs in interdisziplinären, interorganisationalen Bauprojekten eingehender untersuchen, um z.B. Erkenntnisse über ein geeignetes Verhältnis von persönlicher und asynchroner Kommunikation zu erlangen oder die Möglichkeiten einer ggf. intelligent unterstützten Identifikation und Sicherung modell- und projektrelevanter Informationen zu erforschen.

BIM-Werkzeuge, die gezielt einen partizipativen Gestaltungsprozess aller Beteiligten (einschließlich der zukünftigen Gebäudenutzenden) unterstützen, wie z.B. das in novaBIM entwickelte digitale Raumbuch (s. Internetauftritt des Fraunhofer IFF in Magdeburg), bieten die Möglichkeit, Anforderungen an das Gebäude frühzeitig zu erheben, zu reflektieren und abzustimmen. Mit entsprechenden BIM-Werkzeugen können Gestaltungslösungen ohne größeren Aufwand schnell visualisiert und mit den Nutzenden diskutiert werden.

5. Fazit

Obgleich Aussagekraft und Generalisierbarkeit der Ergebnisse limitiert sind (z.B. aufgrund von Stichprobengröße, Verzerrungen und unzureichender Differenzierung der beurteilten BIM-Werkzeuge), lieferten insbesondere die Interviews mit BIM-Nutzenden wertvolle Anregungen für die Gestaltung von BIM-basierten Bauplanungsprojekten sowie der zum Einsatz kommenden Softwaresysteme, die von BIM-Anbietern, -Nutzenden, -Interessierten und -Forschenden aufgegriffen werden

können. Um den Einsatz von BIM auch in kleinen Unternehmen und Handwerksbetrieben zu ermöglichen und zu fördern, sind allerdings größere Anstrengungen erforderlich, die von der Realisierung vereinfachter Zugänge und Schnittstellen bis hin zu Anpassungen von bestehenden Regularien und Abrechnungsstandards reichen.

6. Literatur

Ahankoob A, Abbasnejad B, Wong PSP (2020): The Support of Continuous Information Flow Through Building Information Modeling (BIM). In: Kriengsak, Panuwatwanich & Chien-Ho K (Hg.): The 10th International Conference on Engineering, Project, and Production Management. Singapore: Springer Singapore, S. 125–137.

Bitkom e.V. (Hg.) (2025): Bauwesen: BIM-Software erst bei knapp einem Fünftel im Einsatz. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Bauwesen-BIM-Software-Einsatz, zuletzt geprüft am 13.01.2025.

Borrmann A, König M, Koch C, Beetz J (2021): Die BIM-Methode im Überblick. In: Borrmann A, König M, Koch C & Beetz J(Hg.): Building Information Modeling. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden (VDI-Buch), S. 1–31.

Bundesarchitektenkammer (Hg.) (2023): Berufspolitische Befragung 2023. TEIL 7: BIM. Berlin. Online verfügbar unter https://bak.de/wp-content/uploads/2023/10/2023_BAK_Berufspolitische-Befragung_Bericht-07_BIM_FINAL.pdf.

Bunse E, Willemsen F, Mayer C, Mütze-Niewöhner S (2025): Digital-gestützte Teamarbeit in der Bauplanung: Eine Studie zur Qualität der Kooperation aus Sicht von Beteiligten. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hg.): Arbeit 5.0: Menschzentrierte Innovationen für die Zukunft der Arbeit. 71. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. Aachen, S. 898–903.

Cao D, Li H, Wang G (2017): Impacts of building information modeling (BIM) implementation on design and construction performance: a resource dependence theory perspective. In: Front. Eng 4 (1), S. 20. DOI: 10.15302/J-FEM-2017010.

Dainty A, Moore D, Murray M (2005): Communication in construction. Theory and practice. New York: Taylor & Francis.

Oraee M, Hosseini MR, Edwards DJ, Li H, Papadonikolaki E, Cao D (2019): Collaboration barriers in BIM-based construction networks: A conceptual model. In: International Journal of Project Management 37 (6), S. 839–854. DOI: 10.1016/j.ijproman.2019.05.004.

Prümper J; Anft M (1993): Die Evaluation von Software auf Grundlage des Entwurfs zur internationalen Ergonomie-Norm ISO 9241 Teil 10 als Beitrag zur partizipativen Systemgestaltung — ein Fallbeispiel. In: Rödinger KH (Hg.): Software-Ergonomie '93. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag (Berichte des German Chapter of the ACM), S. 145–156.

Rothenbusch S, Kauffeld S (2020) Potential for change through the digitalization of the cross-trade cooperation of small and medium sized organizations in the construction industry toward Building Information Modeling (BIM)—a case report. GIO, 51(3), 299–317. https://doi.org/10.1007/s11612-020-00526-w.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt den Projektpartnern des Projektkonsortiums „novaBIM“ für die Unterstützung bei der Akquise der Interviewteilnehmenden.

Förderhinweis: Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt novaBIM wurde im Rahmen des Programms „Innovative Arbeitswelten im Mittelstand“ (Förderkennzeichen: 02L22B061) vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Das 3M-Konzept als Lean-basierter Analyseansatz für menschenorientierte Arbeitsgestaltung in Paketverteilzentren

Harald STEINKELLNER, Domenik KAEVER

Institut für Technische Logistik, Technische Universität Graz
Inffeldgasse 25e, A-8010 Graz

Kurzfassung: Paketverteilzentren sind dynamische Arbeitsumgebungen, in denen der Mensch eine zentrale Rolle spielt und erheblichen physischen und kognitiven Belastungen ausgesetzt ist. Ziel dieser Arbeit ist es, das 3M-Konzept des Lean Managements (Muda, Mura, Muri) als konzeptionellen analytischen Rahmen zur ergonomischen Bewertung solcher Zentren zu untersuchen. Die Methodik basiert auf einem theoretischen Ansatz, der funktionale Subsysteme identifiziert und ergonomisch relevante Belastungen entlang der 3M-Kategorien strukturiert. Der Ansatz macht Zielkonflikte zwischen Effizienz- und Ergonomie-Anforderungen transparent und schafft einen Rahmen für künftige empirische Untersuchungen ergonomischer Belastungen in Paketverteilzentren.

Schlüsselwörter: Lean Management, 3M-Konzept, Paketverteilzentrum, Ergonomie, Soziale Nachhaltigkeit, Arbeitsplatzgestaltung

1. Hintergrund

Paketverteilzentren sind zentrale Knotenpunkte der Kurier-, Express- und Paketlogistik (KEP), die als Umschlagsbasen zur Sortierung und Verteilung von Sendungen dienen. Sie bestehen aus Subsystemen, in denen automatisierte Anlagen und manuelle Tätigkeiten eng miteinander verzahnt sind. Das Arbeitsumfeld ist u. a. durch hohe Taktfrequenzen und monotone Bewegungsabläufe geprägt, was zu erheblichen physischen und kognitiven Belastungen führen und die Produktivität beeinträchtigen kann (Li et al. 2024; Steinkellner et al. 2025). Diese Belastungen werden jedoch in Planung und Betrieb dieser Zentren bisher unzureichend berücksichtigt (Steinkellner & Kaever 2024).

Vor diesem Hintergrund wird in der wissenschaftlichen Diskussion zunehmend betont, dass Lean Management neben der Steigerung der Prozesseffizienz auch Potenziale für eine ergonomischere Arbeitsgestaltung bieten kann. Ein zentraler Ansatz ist das 3M-Konzept, das zwischen Verschwendung (Muda), Unausgeglichenheit (Mura) und Überlastung (Muri) unterscheidet (Ohno 1988) und damit eine strukturierte Analyse ergonomischer Schwachstellen ermöglicht.

2. Theoretischer Rahmen

2.1 Lean Management und das 3M-Konzept

Lean Management verfolgt das Ziel, Prozesse so zu gestalten, dass maximaler Kundennutzen bei minimalem Ressourceneinsatz erzielt wird. Der Kundenbegriff

umfasst dabei sowohl externe Abnehmer als auch interne Kunden, etwa nachgelagerte Prozesse oder den Betrieb selbst. Die Grundlage bilden dabei fünf Prinzipien: (1) Wert definieren, (2) den Wertstrom identifizieren, also alle zur Wertschöpfung nötigen Schritte erfassen, (3) einen kontinuierlichen Materialfluss sicherstellen, sodass Prozesse ohne Unterbrechung ablaufen, (4) das Pull-Prinzip etablieren, bei dem nur produziert wird, was benötigt wird, sowie (5) das Streben nach Perfektion im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung (Womack & Jones 1996).

Ursprünglich im Toyota Production System entwickelt, umfasst Lean Management heute ein universelles Gestaltungsprinzip für Produktions- und Logistiksysteme (Hines et al. 2004). Ein zentrales Analyseinstrument in diesem Umfeld ist das 3M-Konzept, das zwischen drei Arten von Prozessabweichungen unterscheidet (Ohno 1988):

- Muda (Verschwendung): Aktivitäten ohne direkten Kundennutzen, etwa unnötige Bewegungen, Transporte, Bestände oder Wartezeiten
- Mura (Unausgeglichenheit): Schwankungen in Auslastung oder Arbeitslast
- Muri (Überlastung): Überschreitung von Belastungsgrenzen

Diese Kategorien stehen in systemischer Wechselwirkung: Prozessschwankungen (Mura) können Überlastungen (Muri) erzeugen, die wiederum Verschwendung (Muda) erzeugen; zugleich kann Muda diese Effekte weiter verstärken (Liker 2004).

2.2 Verknüpfung von Ergonomie und Lean Management in Paketverteilzentren

Ergonomische Arbeitsgestaltung verfolgt das Ziel, Arbeitssysteme so zu gestalten, dass sowohl das Wohlbefinden der Beschäftigten als auch die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems berücksichtigt werden (IEA 2025). Einen ähnlichen Anspruch erhebt Lean Management, das in der Intralogistik jedoch überwiegend zur Steigerung von Effizienzkennzahlen wie dem Durchsatz eingesetzt wird. Arbeitswissenschaftlich ist diese Fokussierung differenziert zu bewerten, da Lean-Ansätze sowohl entlastend als auch belastend wirken können (Hasle et al. 2012).

Entsprechend wird das Verhältnis von Ergonomie und Lean in der Literatur als potenziell spannungsbehaftet beschrieben. Synergien entstehen nur bei integrativer Berücksichtigung beider Perspektiven, während die sequenzielle oder einseitige Anwendung Zielkonflikte zwischen menschlicher Belastbarkeit und Effizienzzielen verstärken kann (Alves et al. 2019; Nofirza et al. 2025). Als geeigneter Ansatz zur Verknüpfung gilt die gemeinsame Betrachtung der Lean-Kernkonzepte Muda, Mura und Muri, da sie prozessuale Ineffizienzen und arbeitsbezogene Belastungen gemeinsam adressieren (Afonso et al. 2021; Radin Umar et al. 2024).

Paketverteilzentren stellen einen besonders relevanten Anwendungsfall dar, da sie u. a. durch hohe Prozessdynamik und zeitkritische, repetitive manuelle Tätigkeiten geprägt sind. Ergonomische Belastungen entstehen hier v. a. aus organisatorischen und prozessualen Rahmenbedingungen wie Lastspitzen und Zeitdruck. Empirische Studien belegen entsprechend erhöhte muskuläre Beanspruchungen und gesundheitliche Risiken (Loske et al. 2021; Silva et al. 2022; Li et al. 2024).

Trotz der engen Kopplung von Effizienz- und Belastungsaspekten fehlt bislang ein strukturierter analytischer Rahmen, der Lean Management zur integrierten Analyse von Effizienz- und Belastungsaspekten in Paketverteilzentren nutzt. Die vorliegende Arbeit adressiert diese Lücke, indem sie das 3M-Konzept als analytischen Rahmen für die ergonomische Bewertung von Paketverteilzentren vorschlägt.

3. Framework zur ergonomischen Analyse von Paketverteilzentren

Die ergonomische Bewertung intralogistischer Systeme wie Paketverteilzentren erfordert einen strukturierten Ansatz, der sowohl die Komplexität der Prozesse als auch die Interaktion technischer, organisatorischer und menschlicher Aspekte berücksichtigt. Vor diesem Hintergrund wurde ein mehrstufiges Analyse-Framework entwickelt, das auf den folgenden Schritten beruht:

- Systemstrukturierung: Das System wird in funktionale Subsysteme zerlegt, die sich hinsichtlich Tätigkeitsprofil, Automatisierungsgrad und Belastungspotenzial unterscheiden (vgl. Abschn. 3.1).
- Ergonomische Analyse entlang der 3M-Kategorien: Belastungspotenziale werden systematisch nach den 3M-Kategorien differenziert, um ineffiziente, unausgeglichene und überlastende Prozesse zu erkennen (vgl. Abschn. 3.2).
- Maßnahmenableitung: Basierend auf der Analyse werden subsystem- und belastungsspezifische Gestaltungsansätze formuliert (vgl. Abschn. 3.3).

Durch die Nutzung der 3M-Kategorien als zentrale Analyseebene wird eine konsistente Verknüpfung von Effizienz- und Ergonomie-Perspektiven ermöglicht, da identische prozessuale Abweichungen zugleich als Effizienzverluste und als Ursachen ergonomischer Belastungen interpretiert werden. Die Analyse erhebt keinen Anspruch auf quantitative Belastungsmessung, sondern dient der systematischen Identifikation und Strukturierung ergonomisch relevanter Belastungsmuster.

Die nachfolgenden Abschnitte dienen der exemplarischen Konkretisierung des Frameworks zur Verdeutlichung des methodischen Vorgehens; eine vollständige Anwendung auf einen konkreten Use-Case ist nicht Gegenstand dieser Arbeit.

3.1 Systemstrukturierung

Die Analyse erfolgt auf Ebene funktionaler Subsysteme, welche die operativen Hauptprozesse eines typischen Paketverteilzentrums abbilden. Im Fokus stehen jene Prozessbereiche, in denen der Mensch eine zentrale Rolle spielt. Abbildung 1 gibt einen Überblick über zentrale Subsysteme und eine Zuordnung manueller Tätigkeiten. Diese basiert auf einem in früheren Arbeiten genutzten Prozessmodell eines Paketverteilzentrums, welches in Steinkellner & Kaever (2024) bereits beschrieben wird. Ergänzt wurde es um innerbetriebliche Transporte zwischen den Subsystemen.

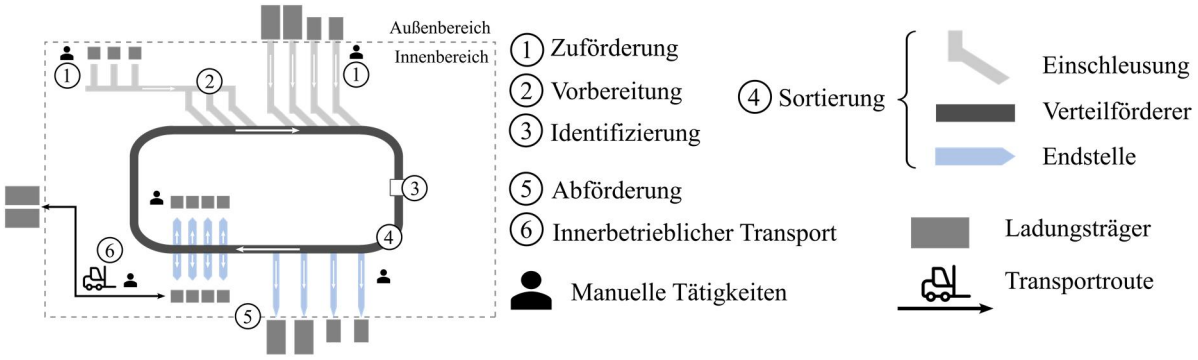


***Abbildung 1**: Subsysteme eines Paketverteilzentrums, angelehnt an (Steinkellner & Kaever 2024).*

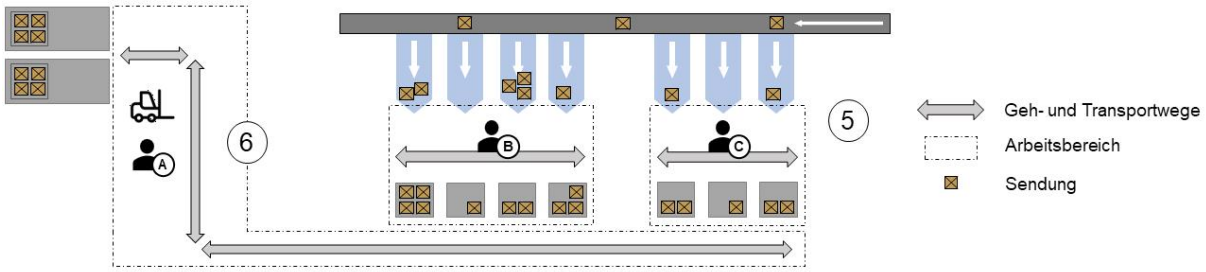
Im Unterschied zu mikroergonomischen Arbeitsplatzanalysen erfolgt hier eine übergeordnete, strukturierte Betrachtung auf Subsystem-Ebene, indem strukturelle Faktoren (z. B. Anlagenlayout), operative Entscheidungen (z. B. Aufgabenzuweisung)

und logistische Rahmenbedingungen (z. B. Arbeitslastspitzen durch schwankende Sendungsmengen) berücksichtigt werden.

3.2 Ergonomische Analyse entlang der 3M-Kategorien

Subsysteme werden entlang der Kategorien Muda, Mura und Muri analysiert, um ergonomisch relevante Belastungsmuster systematisch zu erfassen. Abbildung 2 zeigt exemplarisch am Beispiel der Endstellen, wie ausgewählte Prozessabweichungen den 3M-Kategorien zugeordnet und hinsichtlich ihrer Ursachen sowie Auswirkungen auf Ergonomie und Effizienz dargestellt werden können. Dies ermöglicht eine integrierte Betrachtung ergonomischer und leistungsbezogener Schwachstellen.

Im dargestellten Bereich können etwa unnötige Gehwege (Muda) und ungleich verteilte Beanspruchungen zwischen den Personen B und C (Mura) entstehen, wenn die Zuteilung der zu bearbeitenden Endstellen (Rutschen) zum Personal ungünstig erfolgt – z. B. durch eine statische Zuordnung in einem dynamischen System. Dies führt gleichzeitig zu erhöhter physischer Belastung und ineffizienter Nutzung von Ressourcen. Ein weiterer Analyseaspekt ist das Zusammenspiel der 3M-Kategorien. So können Mura-bedingte Lastspitzen (z. B. durch schwankende Sendungsmengen) kurzfristige Überlastungen einzelner Beschäftigter verursachen (Muri).



A	Art der Abweichung	Ursache(n)	Einfluss auf Ergonomie	Einfluss auf Effizienz
Muda	Unnötig lange Transportwege	Ungünstiges Anlagenlayout	Monotonie, mentale Ermüdung	Verlängerte Transportzeiten
	Viele Leerfahrten	Keine abgestimmte Routenplanung	Monotonie, mentale Ermüdung	Geringe Transport-auslastung
	Zusatz-manipulationen	Defekte Rollbehälter	Physische Mehrbelastung	Verlängerte Transportzeiten
Mura	Prioritätskonflikte	Gleichzeitiger Bedarf an diversen Stellen	Kognitive Belastung	Lokale Engpässe
Muri	Arbeiten unter Lastspitzen	Hohe Taktung bei gleichzeitigem Transportbedarf	Physische & mentale Überlastung	Fehleranfälligkeit, Leistungsabfall

B C	Art der Abweichung	Ursache(n)	Einfluss auf Ergonomie	Einfluss auf Effizienz
Muda	Unnötige Gehwege	Ungünstige Rutschenzuteilung / Entnahmestrategie	Ermüdung	Reduzierte Leistung
	Nacharbeit durch Fehlabwürfe	Störungen der Technik	Zusatz-belastung	Zeitverlust durch Doppelarbeit
Mura	Ungleiche Arbeitslast zwischen B und C	Unterschiedliche Rutschenauslastung, statische Zuteilung	Ungleich verteilte Beanspruchung	Verzögerungen in Teilbereichen
	Stoßweise Sendungsankünfte	Ankunftsprofil der Zulieferer	Zeitdruck, Stress	Rückstau an Rutschen
Muri	Heben schwerer Pakete	Hoher Anteil schwerer Sendungen	Muskel-Skelett-Belastung	Ermüdungs-bedingter Leistungsabfall

***Abbildung 2**: Ergonomische Prozessabweichungen im 3M-Raster (exemplarische Zuordnung).*

3.3 Maßnahmenableitung

Aufbauend auf der Analyse lassen sich Gestaltungsansätze entlang diverser Interventionsebenen strukturieren. Im Kontext des zuvor dargestellten Beispiels könnten strukturelle Ansätze z. B. auf eine angepasste Anordnung von Rutschen abzielen, um überflüssige Laufwege zu vermeiden (Muda). Solche Eingriffe können zwar Effizienzgewinne ermöglichen, zugleich jedoch entlastende Tätigkeits- bzw. Bewegungsanteile reduzieren und dadurch lokale Belastungsspitzen (Muri) begünstigen. Operative Ansätze könnten flexiblere Aufgabenverteilungen betreffen, um ungleichmäßige Arbeitslasten infolge variierender Eingangslasten zu glätten (Mura). Arbeitsplatznahe Ansätze adressieren Überlastungen, etwa durch technische Lösungen wie Exoskelette. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass wesentliche

Einflussgrößen in Form logistischer Rahmenbedingungen – etwa Sendungs- und Ankunftsprofile – außerhalb des unmittelbaren Gestaltungsspielraums liegen.

4. Diskussion

4.1 Nutzen und Anwendung des Ansatzes

Der in dieser Arbeit vorgestellte Analyseansatz leistet einen Beitrag zur strukturierten Vorbereitung ergonomischer Bewertungen von Paketverteilzentren, ohne den Anspruch zu erheben, konkrete Gestaltungsmaßnahmen vorzugeben. Sein zentraler Mehrwert liegt in der Kombination einer Subsystem-orientierten Betrachtung mit den 3M-Kategorien des Lean Managements, wodurch ergonomische Belastungen im Kontext ihrer prozessualen und organisatorischen Einbettung analysiert werden können. Der Ansatz positioniert sich damit zwischen prozessorientierten Lean-Analysen und arbeitsplatzbezogenen ergonomischen Bewertungen und adressiert eine bislang wenig strukturierte Analyseebene in Paketverteilzentren.

Im Vergleich zu mikroergonomischen Analysen erlaubt der Ansatz eine übergeordnete Perspektive, die technische, organisatorische und menschliche Einflussfaktoren gemeinsam berücksichtigt. Die Nutzung der 3M-Kategorien schafft eine gemeinsame analytische Struktur, die sowohl für Effizienzanalysen als auch für arbeitswissenschaftliche Analyse- und Gestaltungsansätze gleichwertig geeignet ist.

Der entwickelte Analyseansatz ist sowohl für Greenfield- als auch für Brownfield-Planungen von Paketverteilzentren geeignet. In Greenfield-Projekten kann die Subsystemstrukturierung und 3M-basierte Bewertung bereits in frühen Planungsphasen unterstützen, während sie im Brownfield-Kontext zur systematischen Analyse bestehender Prozesse und Belastungsmuster eingesetzt werden kann. Die zugrunde liegende Methodik ist in beiden Fällen identisch; Unterschiede ergeben sich lediglich aus den jeweils verfügbaren Gestaltungsfreiheitsgraden.

4.2 Methodische Limitationen und inhaltliche Zielkonflikte

Bei dem vorgestellten Ansatz handelt es sich um einen theoretisch-konzeptionellen Beitrag, der keine empirische Validierung oder quantitative Belastungsmessung umfasst. Die qualitative Zuordnung zu den 3M-Kategorien ist kontextabhängig und erfordert entsprechendes Prozesswissen, was die Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Anwendungen begrenzen kann.

Neben diesen methodischen Einschränkungen sind inhaltliche Zielkonflikte zu berücksichtigen, die sich aus der Anwendung von Lean-Prinzipien in arbeitsintensiven Umgebungen ergeben. Effizienzsteigerungen können bei unzureichender arbeitswissenschaftlicher Begleitung zu einer Erhöhung der Arbeitsintensität führen. Das 3M-Konzept macht diese Zielkonflikte sichtbar, ohne sie automatisch aufzulösen. Während Maßnahmen zur Reduktion von Muda häufig sowohl Effizienz- als auch Ergonomieverbesserungen versprechen, können Interventionen zur Glättung von Mura oder zur Begrenzung von Muri in Konflikt mit kurzfristigen Effizienzzielen stehen. Eine menschenorientierte Anwendung von Lean erfordert daher eine bewusste und transparente Abwägung dieser Zielkonflikte.

4.3 Ausblick

Zukünftige Arbeiten werden den Ansatz empirisch validieren und um quantitative Belastungsindikatoren ergänzen. Darüber hinaus bietet sich eine Kopplung mit simulations- oder optimierungsbasierten Methoden an, um ergonomische und logistische Zielgrößen gemeinsam zu bewerten. Der Ansatz eignet sich dabei insbesondere als vorgelagerte Strukturierung für entsprechende Bewertungs- und Simulationsansätze, wie sie in jüngeren Arbeiten zur sozialen Nachhaltigkeit von Paketverteilzentren vorgeschlagen werden (Steinkellner et al. 2025).

5. Literatur

Afonso T, Alves A, Carneiro P (2021) Lean Thinking, Logistic and Ergonomics: Synergetic Triad to Prepare Shop Floor Work Systems to Face Pandemic Situations. In: International Journal of Global Business and Competitiveness. 16(1). 10.1007/s42943-021-00037-5.

Alves A, Ferreira Ana, Maia L, Leão C, Carneiro P (2019) A symbiotic relationship between Lean Production and Ergonomics: insights from Industrial Engineering final year projects. In: International Journal of Industrial Engineering and Management. 10. 243-256. 10.24867/IJIEM-2019-4-244.

Hasle P, Bojesen A, Jensen P, Bramming P (2012) Lean and the working environment: A review of the literature. In: International Journal of Operations & Production Management. 32. 829-849. 10.1108/01443571211250103.

Hines P, Holweg M, Rich N (2004) Learning to Evolve: A Review of Contemporary Lean Thinking. In: International Journal of Operations & Production Management. 24. 10.1108/01443570410558049.

IEA, International Ergonomics & Human Factors Association (2025) What Is Ergonomics (HFE)? Zugriff am 20.12.2025. https://iea.cc/about/what-is-ergonomics/.

Li M, Ma Z, Yan R, Yin J (2024) The Impact of Physiological and Psychological Fatigue on Work Efficiency: A Case Study of Parcel Sorting Work. In: Sensors. 24(18):5989. https://doi.org/10.3390/s24185989

Liker J (2004) The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. McGraw-Hill, New York.

Loske D, Klumpp M, Keil M, Neukirchen T (2021) Logistics work, ergonomics and social sustainability: Empirical musculoskeletal system strain assessment in retail intralogistics. In: Logistics, 5(4).

Nofirza N, Hadiguna R, Amrina E (2025). Lean ergonomics: A three-dimensional analysis of progress, practical challenges, and prospective research. In: Journal Industrial Servicess. 10(2). 10.62870/jiss.v10i2.28793.

Ohno T (1988) Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Productivity Press.

Radin Umar RZ, Tiong JY, Ahmad N, Dahalan J (2024). Development of framework integrating ergonomics in Lean's Muda, Muri, and Mura concepts. In: Production Planning & Control. 35(12). 1466–1474. https://doi.org/10.1080/09537287.2023.2189640

Silva L, Costa N, Schutz Rosa C, Paulo I, Mattos N, Nunes Giracca C, Simoes S, Aquini A, Merino G, Merino E (2022). Ergonomic assessment of postal workers' pain symptoms and musculoskeletal risks related to parcel processing activity for delivery. In: EXCLI Journal. 21. 744-756. 10.17179/excli2022-4857.

Steinkellner H, Kaever D (2024) Strengthen Social Sustainability in Parcel Hubs: A Theoretical Exploration and the Potential Role of Discrete Event Simulation. In: Proceedings of the XXV International Conference MHCL 2024, ©TU WIEN, Austria, September 18th - 19th, 2024. 1-10.

Steinkellner H, Kaever D, Rockenschaub C (2025). Enhancing Social Sustainability in Parcel Hubs using Discrete Event Simulation and Multi-Objective Optimization. In: 17th IMHRC Proceedings (Trondheim, Norway-2025). https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/pmhr_2025/28/

Womack JP, Jones DT (1996) Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Simon and Schuster, New York.

Virtual Reality für kollaborative Arbeit: Eine arbeitssoziologische Perspektive auf die menschengerechte Gestaltung immersiver Technologien

Marie-Kristin DÖBLER, Michael HEINLEIN, Norbert HUCHLER, Judith NEUMER

Institut für Sozialwissenschaftliche Forschung e.V. – ISF München
Jakob-Klar-Straße 9, D-80796 München

Kurzfassung: Virtual Reality (VR) wird zunehmend als Medium kollaborativer Arbeit genutzt, jedoch überwiegend aus technik- und funktionsorientierter Perspektive gestaltet. Dabei bleiben zentrale Voraussetzungen gelingender Zusammenarbeit – wie geteilte Wahrnehmungen, implizites Erfahrungswissen und soziale Ordnungen – häufig unberücksichtigt. Der Beitrag entwickelt eine arbeitssoziologische Perspektive auf Kollaboration in VR und untersucht, wie sich die situativen Bedingungen gemeinsamen Arbeitens in immersiven Umgebungen verändern. Situationen werden dabei als dynamische Verknüpfungen unterschiedlicher Präsenzdimensionen begriffen. Auf Basis konzeptioneller Überlegungen und empirischer Befunde wird gezeigt, dass Kollaboration in VR als präsenzpluralisierte Arbeitssituation zu verstehen ist, in der Erfahrungsbestände mit medial erzeugten Formen von Kopräsenz synchronisiert werden müssen. Vor diesem Hintergrund werden Konsequenzen für die menschengerechte Gestaltung kollaborativer VR-Arbeitsräume diskutiert und Anforderungen an eine arbeits- und erfahrungsorientierte Gestaltung immersiver Technologien abgeleitet.

Schlüsselwörter: Arbeitssoziologie, Kollaboration, Präsenz, Technikgestaltung, Virtual Reality

1. Einleitung

Mit der zunehmenden Verbreitung immersiver Technologien rückt VR immer stärker als Medium kollaborativer Arbeit in den Vordergrund. Während digitale Zusammenarbeit in den vergangenen Jahren v.a. durch textbasierte und audiovisuelle Kommunikation (z.B. Videocalls und Chats) geprägt war, eröffnen VR-Umgebungen Möglichkeiten einer potenziell neuartigen, körpernah erlebbaren, leiblich erfahrbaren und situativ dichten Form gemeinsamer Interaktion (Heinlein et al. 2025). Gleichwohl ist wenig über Spezifika und Eigenlogiken der Kollaboration in und vermittelt durch diese sog. virtuellen Realitäten bekannt. Ebenfalls ist noch unklar, wie sich die situativen Bedingungen kollaborativen Handelns auswirken, etwa wie sich Arbeit durch den Einsatz von VR an unterschiedlichen Orten und zu unterschiedlichen Zeiten verändert oder ob sich VR-typische Praktiken auch in ‚analogen' Kontexten wiederfinden lassen.

Losgelöst von solchen Fragen dominiert in vielen Entwicklungsprojekten eine technikzentrierte Perspektive, die VR primär als Funktionsträger oder als repräsentationale Umgebung versteht und oftmals danach strebt, ‚die Realität' abzubilden. Dadurch geraten jedoch jene handlungspraktischen Voraussetzungen aus dem Blick, die kollektive Arbeitsprozesse überhaupt erst ermöglichen: geteilte Wahrnehmungen, körperlich-leibliche Orientierungen, implizite Routinen, situative Abstimmungen und die fort-

laufende Aushandlung sozialer Ordnungen (Heinlein 2024). Aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive ist diese Verkürzung problematisch, da sie dazu führt, dass Gestaltungsentscheidungen an den tatsächlichen Bedingungen kollaborativen Arbeitshandelns vorbeigehen und potenzielle Belastungen oder Koordinationsprobleme erst im Nutzungsvollzug sichtbar werden.

Der vorliegende Beitrag entwickelt eine arbeitssoziologische Perspektive auf Kollaboration in VR, die die Bedingungen VR-vermittelter Kollaboration am Konzept „situativer Präsenzfigurationen“ (Döbler & Schmidl 2024) modelliert. Ausgangspunkt ist ein situationssoziologischer Ansatz, der Situationen als dynamische Relationen unterschiedlicher Präsenzdimensionen fasst. Ergänzt wird dieser Zugang durch konzeptionelle und empirische Ergebnisse aus vier Forschungsprojekten zur VR-Nutzung in Arbeitskontexten, in denen sich zeigt, wie stark kollaboratives Handeln auch im virtuellen Raum an leibliche Erfahrungsmodi, Kontextwissen und die impliziten Ordnungen organisationaler Praxis rückgebunden bleibt (Heinlein et al. 2021; Heinlein et al. 2023; Heinlein 2024; Weigel et al. 2022).[1] Der Beitrag argumentiert, dass sich VR-Kollaboration nur dann verstehen und gestalten lässt, wenn die Verschiebung und Verknüpfung von Präsenzformen in den Blick rückt und VR als eine an ‚reale‘ Erfahrungswelten gebundene Wirklichkeit begriffen wird.

2. Theoretischer Rahmen: Situationen als relationale Präsenzfigurationen

Die soziologische Bestimmung von Situationen ist traditionell mit Fragen von Wahrnehmung, Interaktion und Kopräsenz verknüpft. Während Goffman (1983) den Fokus auf körperliche Verfügbarkeit und „response presence“ legt, haben neuere Ansätze darauf hingewiesen, dass Situationen sich nicht allein über physische Nähe bestimmen lassen (Knorr-Cetina 2009, Zhao 2015). Döbler und Schmidl (2024) schlagen daher vor, Situationen als „relationale Präsenzfigurationen“ zu begreifen, d.h. als praktisch erzeugte Konstellationen verschiedener Formen von Präsenz, die als dynamische Mischungen verschiedener Präsenzdimensionen (physisch, räumlich, zeitlich, kognitiv, emotional, medial und materiell) erscheinen. Diese Dimensionen sind nicht dichotom als ‚anwesend/abwesend‘ zu verstehen, sondern graduell ausgeprägt. Die Gradualisierung und die Figurationsperspektive bringen mit sich, dass nicht binär zwischen virtuellen und realen oder digitalen und analogen Welten unterschieden wird, sondern die jeweils emergierenden Präsenzkonstellationen im Wechselverhältnis mit Praktiken sichtbar gemacht werden (Döbler under review).

Dieses präsenztheoretische Konzept erlaubt, hybride und medienvermittelte Arbeitsumgebungen präziser zu fassen. Während traditionelle Interaktionsformen meist eine Synchronität körperlicher Anwesenheit voraussetzen, zeichnet sich VR dadurch aus, dass sie körperliche, mediale und kognitive Präsenz in neuartigen Konstellationen koppelt. Nutzende sind physisch getrennt, erleben aber eine Form medial erzeugter

[1] Konkret sind damit die unter Beteiligung des ISF München durchgeführten und vom BMFTR geförderten Forschungsprojekte aSTAR (Kompetenzvermittlung in einer VR/AR-basierten Umgebung zur Arbeitsgestaltung; Laufzeit 05/2019 bis 04/2022), VR-Chain (Virtual Reality zur Unterstützung nachhaltiger Vernetzung in Wertschöpfungsketten; Laufzeit 01/2023 bis 08/2026), VILinKRITIS (Virtual Innovation Labs und digitale Kollaborationsräume in der Kritischen Infrastruktur; Laufzeit 01/2025 bis 12/2027) und TeleVeRbundenheit (Soziale Verbundenheit durch virtuell erweiterte Telepräsenz; Laufzeit 04/2023 bis 03/2026) gemeint, die sich um Fragen des VR-vermittelten Erfahrungstransfers, der VR-gestützten Kollaboration und des VR-initiierten Innovationshandelns sowie den Effekten technisch vermittelter Präsenz u.a. im Arbeitskontext drehen.

Kopräsenz oder deuten Situationen intersubjektiv so, als ob sie sich in wechselseitiger „response presence“ befänden; sie sind körperlich-leiblich involviert, zugleich aber von materiellen Widerständen inkl. möglicher Gefahren und Handlungsnotwendigkeiten weitgehend entlastet, stellen aber ggf. einen Objektbezug oder eine Nutzung her, die der Praxis der ‚echten Welt‘ entspricht; sie interpretieren gemeinsame Gegenstände, deren physische Eigenschaften simuliert, aber nicht oder nur vermittelt erfahren werden. Damit verschiebt VR die Bedingungen der situativen Verständigung fundamental: Aus körperlich-materieller wird eine medial aufgebaute Form von Kopräsenz, die dennoch leiblich wahrgenommen und interaktiv geordnet wird und an Vorerfahrungen anknüpft (z.B. in Bezug auf Hierarchien oder Genderverhältnisse; vgl. Heinlein 2024).

Der präsenztheoretische Rahmen macht deutlich, dass VR nicht einfach Abwesenheit von Körperlichkeit bedeutet, sondern eine spezifische Refiguration körperlicher, medialer und kognitiver Präsenz (Döbler under review). Kollaboration in VR ist daher als gemeinsame Bearbeitung einer ‚präsentistischen‘ Situation zu verstehen – einer Figuration, in der Teilnehmende fortwährend aushandeln, was als relevant, materiell, gemeinsam wahrnehmbar oder interaktional legitim gilt (Döbler 2020) –, die trotz ihrer Neuheit und Virtualität von zahlreichen realweltlichen Kontextbedingungen gerahmt wird. Der präsenztheoretische Zugriff erlaubt es dabei, nicht nur einzelne Aspekte medial vermittelter Interaktion zu isolieren, sondern die Gleichzeitigkeit, Überlagerung und mögliche Spannung unterschiedlicher Präsenzformen analytisch zu erfassen. Diese Zusammenhänge bleiben in binären Gegenüberstellungen von ‚real‘ und ‚virtuell‘ häufig unsichtbar.

3. Kollaboration in VR als arbeitssoziologische Herausforderung

Aus arbeitssoziologischer Perspektive lässt sich Kollaboration als eine Form des gemeinsamen Arbeitshandelns bestimmen, in der nicht nur Informationen ausgetauscht, sondern Wahrnehmungen, Interpretationen und Handlungsvollzüge aufeinander abgestimmt werden. Kollaborative Prozesse sind daher immer an geteiltes Kontextwissen (Bolte & Neumer 2025), implizite Routinen und habitualisierte Formen körperlich-leiblicher Orientierung gebunden (Heinlein 2024). Genau hier zeigt sich die besondere Herausforderung von VR, die in verschiedener Hinsicht spürbar wird.

Virtuelle Arbeitsräume sind keineswegs frei von sozialen Ordnungen. Vielmehr werden etablierte Muster der Zusammenarbeit importiert und in VR fortgeführt, etwa wenn stereotype Zuschreibungen entlang organisationaler Hierarchien reproduziert werden, obwohl Avatare geschlechtsneutral und körperlich abstrahiert dargestellt sind. Soziale Ordnung wird daher nicht primär über die visuelle Darstellung, sondern über die Interpretation und Interaktionsgeschichte der Beteiligten sowie in und über die in der VR wirksamen Präsenzen hergestellt. Dies gilt auch für Nähe- und Distanzverletzungen, die – wie etwa beim immer wieder beobachtbaren, i.d.R. jedoch unbeabsichtigten Eindringen eines Avatars in den körperlichen Raum eines anderen – Irritationen provozieren und Entschuldigungen nach sich ziehen, die auf eine im Hintergrund wirksame körperlich-leibliche Interaktionsordnung verweisen. Ebenso werden virtuelle Objekte (z.B. Stahlträger, Maschinen oder Wände) mental mit ‚Gewicht‘ versehen und entsprechend behandelt, obwohl in VR-Umgebungen i.d.R. keinerlei physische Widerständigkeit spürbar ist. Nutzende beziehen ihre Erfahrung der VR fortlaufend auf die physische Realität und stellen aktiv eine sinnliche Komplementarität her, die digitalen Artefakten eine für den Kollaborationsprozess notwendige Materialität verleiht. Im gemeinsamen Handeln in der VR wirksam wird diese Ergänzungsleistung jedoch erst dann,

wenn sie zu einer situativen Konventionalisierung führt, d.h. wenn die Bedeutungen, die materiell reduzierte digitale Artefakte im Prozess des Handelns erhalten, kollektiv geteilt und stabilisiert werden. Dazu sind Abstimmungs- und Austauschprozesse nötig, die nicht nur sprachlich ablaufen, sondern auch in körperlich-leiblicher Hinsicht (z.B. durch Aufforderungs- und Zeigegesten, Blickrichtungen) vollzogen werden. Diese kommunikativen Prozesse und Ergänzungsleistungen erfolgen nicht automatisch oder reibungslos. Auch wenn sie oft vorbewusst und routiniert ablaufen, sind sie mit zusätzlichem Abstimmungsaufwand, situativen Irritationen und potenziellen Missverständnissen verbunden, die Bestandteil kollaborativen Arbeitshandelns sind.

Diese Beispiele unterstreichen, dass VR nicht als Alternative zur realweltlichen Praxis zu verstehen ist, sondern als situative Erweiterung, die in enger Wechselwirkung mit leiblich verankerten Erfahrungsbeständen steht. Nutzende aktivieren ihr Erfahrungswissen, nutzen vertraute Körperschemata und greifen auf implizite Routinen zurück, um im virtuellen Raum handlungsfähig zu werden. Kollaboration in VR bedeutet somit, reale und virtuelle Erfahrungsbezüge in einer präsenzverschobenen Umgebung miteinander zu synchronisieren und – trotz möglicher Spannungen und Widersprüche – in ein Verhältnis zueinander zu bringen.

4. Kollaborative VR-Situationen als präsenzpluralisierte Figurationen

Aus der Verschränkung situations- und arbeitssoziologischer Perspektiven ergibt sich ein Verständnis kollaborativer VR-Situationen, das sich als ‚präsenzpluralisierte' Form des gemeinsamen Arbeitens beschreiben lässt. VR erzeugt eine situative Figuration, in der verschiedene Präsenzdimensionen gleichzeitig aktiviert und verschoben sind und – ggf. je nach Grad der Immersion – in Konflikt mit der leiblich verankerten Situation geraten können:

- *Physische Präsenz* ist reduziert, aber nicht obsolet, weil Körperhaltungen, Bewegungsmuster und Proxemik nachwirken.
- *Mediale Präsenz* ist dominant, da der situativ-praktisch relevante Raum, Objekte und Interaktionsmöglichkeiten technisch erzeugt sind (und doch an materiell-leibliche Grenzen stoßen können, etwa wenn man im offenen virtuellen Raum vorwärts geht und sich im begrenzten realweltlichen Raum den Kopf anstößt).
- *Kognitive Präsenz* ist hochgradig gefordert, weil Bedeutungen virtueller Artefakte erst gemeinsam erzeugt und stabilisiert werden müssen.
- *Emotionale Präsenz* bleibt relevant, insbesondere in Bezug auf Nähe, Irritation, Vertrauen oder Anerkennung.
- *Materielle Präsenz* ist simuliert, aber interpretativ wirksam, d.h. Objekte erscheinen ‚schwer', ‚scharf' oder ‚fragil', obwohl sie physisch nicht vorhanden sind.

Entscheidend ist dabei, dass diese Präsenzformen nicht additiv nebeneinanderstehen, sondern sich situativ überlagern, verstärken oder widersprechen können. Aus dieser präsenzpluralisierten Figuration ergibt sich, dass kollaboratives Handeln in VR eine spezifische Form situativer Aushandlung verlangt. Teilnehmende müssen kontinuierlich klären, wie die virtuelle Welt zu lesen ist, welche Bedeutungen Artefakte haben (können) und welche sozialen Regeln gelten. In Beobachtungen aus den oben genannten Projekten zeigt sich beispielsweise, dass kollaborativ Handelnde in VR erst nach mehreren Minuten ein gemeinsames Verständnis davon entwickeln, wie ein virtuelles Werkzeug ‚richtig' zu greifen und zu benutzen sei.

Damit wird ersichtlich, dass VR-Situationen nicht primär durch technische Parameter stabilisiert werden, sondern durch die interpretativen Leistungen der Beteiligten. Kollaboration entsteht aus der Verknüpfung und Ausbalancierung von Präsenzformen, die in VR in veränderter Weise erfahrbar sind – im Rückgriff auf, aber auch mit einer aktiven, nicht unbedingt explizit-bewussten Anpassung von (Erfahrungs-)Wissen. VR-Kollaboration ist somit ein permanenter Prozess der Synchronisation von Wahrnehmungen, Bedeutungen und Handlungsvollzügen, d.h. ein Prozess, der sowohl an reale Routinen gebunden ist als auch neue, ggf. eigenlogische Formen der Situationsherstellung hervorbringt.

5. Konsequenzen für die menschengerechte Gestaltung von VR für kollaborative Arbeit

Die präsenzpluralisierte Struktur virtueller Situationen hat weitreichende Folgen für die Gestaltung kollaborativer Arbeitsräume in VR. Die folgenden Überlegungen sind dabei nicht als technikbezogene Gestaltungsrezepte zu verstehen, sondern als analytisch begründete Gestaltungserfordernisse, die sich aus der spezifischen Situationslogik präsenzpluralisierter kollaborativer Arbeit in VR ergeben. Wenn VR als eigenständige, dabei aber erfahrungsgebundene und nur durch graduelle Unterschiede abgehobene Wirklichkeit verstanden wird, dann muss die Gestaltung über rein funktionale oder repräsentationale Überlegungen hinausgehen. Zentral ist die Frage, wie VR Nutzende dabei unterstützt, einen gemeinsamen Rahmen des Verstehens und Handelns herzustellen. Insbesondere vier Punkte ergeben sich aus den vorangehenden Überlegungen:

1. VR-Umgebungen sollten Wahrnehmungsanschlüsse ermöglichen, die an leibliche Erfahrungsweisen anknüpfen. Dazu gehören klare räumliche Orientierungen, nachvollziehbares Objektverhalten und visuelle Hinweise, die geteilte Interpretationen möglich machen und stabilisieren.
2. Man sollte nicht der Fehlannahme erliegen, VR sei als ‚künstlich erzeugte Welt' neutral und kontextfrei. Bei der VR-Gestaltung müssen die jeweils gültigen sozialen Ordnungen der Zusammenarbeit berücksichtigt werden, angefangen von lokalen Gepflogenheiten bis hin zu interkulturellen Unterschieden. Sowohl bei der Gestaltung als auch der Nutzung werden Hierarchien, Rollen und implizite Erwartungen in VR reproduziert. Daher können VR-Szenarien Möglichkeiten reflexiver Auseinandersetzung bieten, etwa durch Rollenwechsel, Perspektivenübernahmen oder partizipative Gestaltungsschleifen.
3. Die aktive Unterstützung kollektiver Sinnbildung ist zentral: VR sollte z.B. Werkzeuge bereitstellen, um gemeinsam Objekte zu markieren, zu modifizieren oder zu kommentieren, sodass Bedeutungen nicht individuell, sondern kooperativ entstehen.
4. VR eröffnet neue Formen der Kopräsenz, etwa durch simulierte Nähe oder die Möglichkeit, simultane Prozesse einzufrieren oder zu visualisieren. Diese Gestaltungsspielräume sollten genutzt werden, um die situative Abstimmung kollektiver Aktionen zu erleichtern oder Möglichkeiten zu erweitern, und zwar ohne reales Erfahrungswissen zu ersetzen, sondern indem es produktiv eingebunden wird.

6. Fazit

Der Beitrag hat gezeigt, dass Kollaboration in VR als spezifische situative Figuration verstanden werden muss, in der verschiedene Präsenzdimensionen auf besondere Weise verschränkt sind. VR erzeugt eine Erfahrungswirklichkeit, die nur im Rückgriff auf reale Erfahrungs-, Wahrnehmungs- und Interaktionsmuster praktikabel wird. Kollaboratives Handeln in VR ist daher stets ein Zusammenspiel von importierten Wissensbeständen und verkörperten Routinen, medial erzeugten Präsenzformen und situativer Aushandlung gemeinsamer Bedeutungen.

Eine arbeitssoziologische Perspektive, die durch einen präsenztheoretischen, situationssoziologischen Zugang erweitert wird, erlaubt es, diese Besonderheiten sichtbar zu machen und Konsequenzen für die menschengerechte Gestaltung virtueller Arbeitsräume abzuleiten. Für die Arbeitswissenschaft bedeutet dies, dass VR nicht primär als neue Technologie, sondern als veränderter situativer Rahmen von Arbeit zu analysieren und zu gestalten ist, in dem Fragen der Präsenz, der Koordination und der sozialen Ordnung zentral für menschengerechte Arbeitsgestaltung werden. Zukünftige Forschung sollte daher insbesondere die empirische Analyse präsenzpluralisierter Situationen in VR vertiefen und gemeinsam mit Nutzenden Gestaltungsprinzipien entwickeln, die die spezifische Situationslogik virtueller Kopräsenz produktiv nutzbar machen.

7. Literatur

Bolte A, Neumer J (2025) Erfahrungsbasiertes Kontextwissen im Prozess der Arbeit erlernen – Anforderungen an lernförderliche Arbeitsgestaltung. In: Allespach M, Käpplinger B, Wienberg J (Eds) Handbuch betriebliche Weiterbildung. Kritisch-emanzipatorische Ansätze in Theorie und Praxis, Frankfurt a.M.: Bund-Verlag, 323-336.

Döbler MK (under review) Studying Hybrid Meetings in Remote Collaborations. Journal of Organizational Ethnography.

Döbler MK (2020) Nicht-Präsenz in Paarbeziehungen. Wiesbaden: Springer.

Döbler MK, Schmidl A (2025) Situations as Relational Presences. Symbolic Interaction, 48: 465-486. https://doi.org/10.1002/symb.719

Goffman E (1983) The Interaction Order. American Sociological Association, 1982, Presidential Address. American Sociological Review 48:1–17.

Heinlein M (2024) Kollaboration in virtuellen Arbeitsräumen: Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von VR-Technologien in der Zusammenarbeit. Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie 55: 17-25.

Heinlein M, Huchler N, Wittal R (2025) Virtual Reality als Lern- und Arbeitsraum: Nutzungsmöglichkeiten, Grenzen und Gestaltungserfordernisse. In: Grundlagen der Weiterbildung: Praxishilfen (GdW-Ph). Neuwied: Luchterhand, Aktualisierungslieferung Nr. 241, Januar 2025, Kap. 7.80.10, 1-21.

Heinlein M, Huchler N, Wittal R (2023) Erfahrungsgeleitetes Lernen in Virtual Reality-Umgebungen: Möglichkeiten der digital gestützten Kompetenzentwicklung im Arbeitsprozess. In: Kauffeld S, Rothenbusch, S (Eds) Kompetenzen von Mitarbeitenden in der digitalisierten Arbeitswelt. Kompetenzmanagement in Organisationen. Berlin, Heidelberg: Springer, 179-193.

Heinlein M, Huchler N, Wittal R, Weigel A, Baumgart T, Niehaves B (2021) Erfahrungsgeleitete Gestaltung von VR-Umgebungen zur arbeitsintegrierten Kompetenzentwicklung: Ein Umsetzungsbeispiel bei Montage- und Wartungstätigkeiten. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 75: 388-404.

Knorr-Cetina K (2009) The Synthetic Situation: Interactionism for a Global World. Symbolic Interaction 32(1):61–87.

Weigel A, Baumgart T, Zeuge A, Sauter, L, Niehaves, B, Huchler, N, Heinlein, M, Wittal, R, Staiger, B (2022) Competence transfer in virtual realities: Can virtual reality bring products and services together? WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation 72: 1727-1743.

Zhao S (2015) Constitution of Mutual Knowledge in Telecopresence: Updating Schutz's Phenomenological Theory of the Lifeworld. Journal of Creative Communications 10(2):105–127.

Gamification in der Produktion: Qualitative Analyse praxisbezogener Wahrnehmungen und arbeitswissenschaftliche Implikationen

Viktoria MORDASCHEW[1], Benedikt LATOS[2]

[1] InIT - Institute Industrial IT, Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe Campusallee 12, D-32657 Lemgo
[2] Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Campusallee 12, D-32657 Lemgo

Kurzfassung: Gamification, häufig definiert als der Einsatz spieltypischer Elemente in nicht-spielerischen Kontexten, ist eine Methode, die häufig zur kurzfristigen Motivationssteigerung genutzt und daher aus arbeitswissenschaftlicher Sicht kritisch bewertet wird. Es stellt sich die Frage wie Gamification gestaltet werden muss, um mit Leitbildern der Arbeitswissenschaft vereinbar zu sein. Ziel dieses Beitrags ist es Gamification als Teil von sozio-technischen Arbeitssystemen zu betrachten. Dafür wurde eine qualitative Interviewstudie mit 25 Personen aus 14 Unternehmen, Institutionen und Einrichtungen aus Forschungs-, Produktions- sowie inklusiven Kontexten durchgeführt. Die Studie leistet einen Beitrag zur arbeitswissenschaftlichen Diskussion, indem sie praxisnahe Perspektiven aufzeigt und Aspekte sichtbar macht, die bei der humanorientierten Gestaltung von Gamification in der Produktion berücksichtigt werden sollten.

Schlüsselwörter: Gamification, Qualitative Interviewstudie, Sozio-technische Arbeitssysteme, Produktion

1. Einleitung

Produktionsunternehmen stehen vor der Herausforderung einer zunehmend diversifizierten Belegschaft, geprägt durch den demografischen Wandel, Globalisierung sowie den wachsenden Anspruch an Inklusion und Gleichberechtigung (Busch et al. 2025; Stahl et al. 2010; Randel 2025). Damit rücken Fragen der Lernunterstützung, individuellen Ansprache und Arbeitsgestaltung verstärkt in den Fokus. Als eine mögliche Antwort auf diese veränderten Anforderungen wird Gamification diskutiert (Ferreira et al. 2017). Gamification, definiert als der Einsatz spieltypischer Elemente in nicht spielerischen Kontexten (Deterding et al. 2011), wird seit über einem Jahrzehnt in verschiedenen Bereichen eingesetzt, um Verhalten und Handeln zu beeinflussen. In vielen Anwendungsfällen wird Gamification primär als psychologisches Instrument verstanden, das darauf abzielt, individuelles Verhalten zu beeinflussen oder Motivation zu steigern (Assis und Freitas 2023). Dabei ist Gamification nicht grundsätzlich an digitale Technologien gebunden. Spieltypische Elemente können ebenso in analogen oder hybriden Arbeitskontexten eingesetzt werden (Deterding et al. 2011). In der Produktion findet Gamification Anwendung, um beispielsweise Motivation, Lernprozesse oder Produktivität von Arbeitspersonen zu unterstützen (Hamari et al. 2014). Produktionsumgebungen sind durch spezifische

Rahmenbedingungen gekennzeichnet. Sie weisen heterogene Belegschaften auf, die sich hinsichtlich personenbezogener Merkmale, Präferenzen sowie Fähigkeiten, Erfahrungen und kultureller Hintergründe unterscheiden (Stahl et al. 2010). Gleichzeitig sind Produktionsprozesse durch hohe Anforderungen an Produktivität, Qualität, Termine und Kosten geprägt (Dombrowski und Krenkel 2021). Diese Bedingungen machen Produktionsumgebungen zu komplexen sozio-technischen Kontexten, in denen Gestaltungslösungen für das Zusammenspiel von Mensch, Aufgabe und Technik erforderlich sind.

Aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive wird Gamification bislang häufig kritisch bewertet, da sie primär auf kurzfristige Motivationssteigerungen ausgerichtet sein kann und Aspekte wie nachhaltige Motivation, selbstreguliertes Handeln, psychische Gesundheit oder Partizipation nicht systematisch berücksichtigt (Hanus und Fox 2015; Hamari et al. 2014; Seaborn und Fels 2015). Gamification so zu gestalten, dass sie mit arbeitswissenschaftlichen Leitbildern wie Humanität, Lernförderlichkeit und Gesundheitsorientierung vereinbar ist und zugleich betriebliche Ziele unterstützt, stellt eine zentrale Herausforderung dar. Es stellt sich daher die Frage, wie Gamification als Gestaltungsansatz für sozio-technische Arbeitssysteme in der Produktion eingeordnet und weiterentwickelt werden kann.

Dieser Beitrag greift diese Fragestellung auf. Ziel ist es, Gamification als Gestaltungsansatz innerhalb sozio-technischer Arbeitssysteme anhand von Ergebnissen aus einer qualitativen Interviewstudie zu diskutieren. Dafür werden praxisbezogene Wahrnehmungen herangezogen, die im Rahmen dieser qualitativen Interviews mit Personen aus Forschungs-, Produktions- und inklusiven Kontexten erhoben wurden. Die gewonnen Erkenntnisse werden anschließend reflektiert und Implikationen für eine humanorientierte Gestaltung von Gamification in der Produktion werden abgeleitet.

2. Interviewstudie zu praxisbezogenen Wahrnehmungen von Gamification

Zur Einordnung von Gamification in Produktionsumgebungen aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive wurden qualitative Interviews mit Expert:innen und Praktiker:innen aus Deutschland durchgeführt. Die Auswahl der Interviewpartner:innen erfolgte mittels eines gezielten, theoriebasierten Samplings auf Grundlage des arbeitswissenschaftlichen Arbeitssystemmodells nach Schlick et al. (2018). Ziel war es, zentrale Akteur:innen aus allen relevanten Dimensionen des Arbeitssystems einzubeziehen und so unterschiedliche Perspektiven auf den Einsatz von Gamification in der Produktion abzubilden. Es wurden 25 Personen aus 15 unterschiedlichen Unternehmen und Institutionen rekrutiert, darunter Mitarbeitende aus der Produktion, Führungskräfte, Expert:innen für Inklusion, Vertreter:innen von Arbeitnehmervertretungen sowie Forschende. Die Datenerhebung erfolgte in Form halbstrukturierter, leitfadengestützter Interviews, die online durchgeführt und audioaufgezeichnet wurden. Die Interviews dauerten zwischen 30 und 60 Minuten und behandelten u. a. Erfahrungen mit Gamification, wahrgenommene Potenziale und Herausforderungen, Gründe für die bislang geringe Verbreitung in der Produktion sowie Anforderungen an geeignete Systeme. Die Rekrutierung wurde beendet, als eine inhaltliche Sättigung erreicht war. Die Auswertung der Interviews erfolgte mittels qualitativer Inhaltsanalyse nach Kuckartz und Rädiker (2024). Dabei wurden deduktive Kategorien auf Basis des Interviewleitfadens gebildet und im Analyseprozess induktiv erweitert.

Die **Ergebnisse** der Auswertung der Interviews zeigen, dass Gamification in Produktionsumgebungen bislang kaum praktisch verankert ist. Nur wenige der befragten Personen hatten direkte Berührungspunkte mit gamifizierten Systemen (n=7), wobei diese überwiegend aus dem Forschungsumfeld stammten. Gleichzeitig gaben die meisten Interviewten an, den Begriff Gamification bereits gehört zu haben (n = 21), ohne dessen konkrete Bedeutung oder mögliche Einsatzszenarien im Produktionskontext klar benennen zu können. Gamification wurde dabei häufig auf einfache Belohnungsmechanismen reduziert, insbesondere auf materielle oder zeitliche Anreize. Nach einer kurzen Erläuterung zeigten die meisten Teilnehmenden grundsätzliches Interesse an dem Thema, verbunden mit einer kritischen Reflexion möglicher Auswirkungen auf Arbeit und Arbeitsorganisation.

Zentrale **Herausforderungen** wurden sowohl auf organisationaler als auch auf individueller Ebene gesehen. Auf organisationaler Ebene nannten die Interviewten insbesondere fehlende Ressourcen wie mangelnde Expertise zur Einführung und zum Betrieb gamifizierter Systeme (n=10). Zudem wurde der Nutzen von Gamification als nicht ausreichend quantifizierbar eingeschätzt (n=7), was die Rechtfertigung von Investitionen erschwert. Weitere organisationale Hürden betrafen Widerstände von Arbeitnehmervertretungen (n=4), unzureichende Unterstützung durch Führungskräfte (n=3) sowie Schwierigkeiten, den Einsatz von Gamification langfristig aufrechtzuerhalten (n=4). Diese Nennungen verdeutlichen, dass Gamification weniger an grundsätzlicher Ablehnung scheitert, sondern an bestehenden organisatorischen Entscheidungs- und Bewertungslogiken sowie an bestehenden organisationalen Strukturen.

Auf individueller Ebene wurden Risiken wie steigender Leistungsdruck (n=5), Konkurrenz zwischen Beschäftigten (n=2), mögliche Ungerechtigkeiten (n=4) sowie eine Abnahme der Motivation über die Zeit hinweg (n=12) thematisiert. Insbesondere der potenzielle Neuheitseffekt wurde als kritisch für eine nachhaltige Nutzung eingeschätzt (n=4). Ältere Beschäftigte wurden vereinzelt als weitere Herausforderung benannt (n=2), insbesondere im Zusammenhang mit Vorbehalten gegenüber digitalen Technologien und spielerischen Ansätzen.

Systembezogene Herausforderungen betrafen vor allem die als nicht realistisch eingeschätzte Individualisierung und Barrierefreiheit gamifizierter Systeme (n=9). Darüber hinaus wurden Bedenken hinsichtlich der Fairness und Transparenz geäußert (n=4). Ethische und rechtliche Aspekte wurden seltener explizit genannt, erhielten jedoch insbesondere im Zusammenhang mit Datenschutz (n=6) und möglicher Überwachung (n=2) eine hohe Bedeutung.

Trotz dieser Vorbehalte wurden auch **Potenziale** von Gamification benannt. Am häufigsten erwarteten die Interviewten eine Steigerung der Motivation (n=20), häufig vor dem Hintergrund wahrgenommener, bestehender Motivationsprobleme in der Belegschaft. Darüber hinaus wurden ein verbessertes Arbeitsklima (n=14) sowie die Unterstützung von Lern- und Qualifizierungsprozessen (n=4) hervorgehoben. Leistungsbezogene Effekte wie Produktivitäts- (n=10) oder Qualitätssteigerungen (n=5) wurden ebenfalls genannt. Die beschriebenen Potenziale waren jedoch an klare Bedingungen geknüpft. Die Interviewten betonten die Notwendigkeit fairer, transparenter (n=5) und anpassbarer (n=9) Systeme, die unterschiedliche Fähigkeiten, Bedürfnisse und Belastungsgrenzen berücksichtigen. Zudem sollten diese Systeme kostengünstig (n=14) und intuitiv (n=15) sein.

Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse, dass Gamification von den Befragten nicht als isoliertes Motivationsinstrument verstanden wird, sondern als Eingriff in bestehende Strukturen und in sozio-technische Arbeitssysteme. Daraus ergeben sich

Spannungsfelder zwischen Produktivitätszielen, Humanorientierung, Partizipation und Inklusion, die bei der Gestaltung und Einführung gamifizierter Systeme in der Produktion systematisch berücksichtigt werden müssen.

3. Zentrale Spannungsfelder aus arbeitswissenschaftlicher Sicht

Die Interviews zeigen, dass Gamification in Produktionsumgebungen nicht als isoliertes Motivationsinstrument wahrgenommen wird, sondern als Eingriff in bestehende sozio-technische Arbeitssysteme. Daraus lassen sich vier Spannungsfelder identifizieren. Die identifizierten Spannungsfelder verweisen jedoch weniger auf konkrete Gestaltungselemente als auf grundlegende Gestaltungsfragen im Kontext von Arbeit. Das Spannungsfeld zwischen Motivationsförderung und Leistungsdruck zeigt, dass Gamification nicht ausschließlich als unterstützend wahrgenommen wird. Im Spannungsfeld zwischen Unterstützung und Kontrolle zeigt sich, dass strukturierte Rückmeldungen zugleich als potenzielle Überwachungsinstrumente interpretiert werden. Gamification berührt damit zentrale Fragen von Datenschutz, Mitbestimmung und Zweckbindung von Leistungsdaten. Das Spannungsfeld von Individualisierung und Standardisierung verweist auf einen klassischen Zielkonflikt: Während adaptive Systeme erforderlich wären, begrenzen organisationale und wirtschaftliche Rahmenbedingungen ihre Umsetzung. Schließlich zeigt das Spannungsfeld zwischen Freiwilligkeit und Verbindlichkeit, dass Gamification nicht ohne Weiteres mit Prinzipien wie Autonomie und Partizipation vereinbar ist, wenn Nutzung entweder erzwungen oder vollständig dem individuellen Belieben überlassen wird. Insgesamt verdeutlichen diese Spannungsfelder, dass Gamification mehrdimensional beleuchtet werden muss. Betrachtet man diese genauer, so zeigen sich hinsichtlich der humanorientierten Gestaltung von Gamification mehrere Zielkonflikte, welche zwar nicht gelöst werden können, jedoch zur Erstellung von Implikationen dienen können, um Gestaltungsentscheidungen treffen zu können.

4. Implikationen für eine humanorientierte Gestaltung von Gamification

Aus den identifizierten Spannungsfeldern lassen sich arbeitswissenschaftliche Implikationen ableiten:

- **Motivationsförderung vs. Leistungsdruck:** Die Interviews zeigen, dass Gamification zwar mit Erwartungen an eine Steigerung der Motivation verbunden ist, zugleich jedoch die Gefahr besteht, bestehenden Leistungsdruck zu verstärken oder zusätzliche Leistungsnormen zu etablieren. Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht ergibt sich daraus die Implikation, Gamification so zu gestalten, dass sie arbeitsunterstützend wirkt und nicht zur Verdichtung von Leistungsanforderungen beiträgt.
- **Unterstützung vs. Kontrolle:** Die ambivalente Wahrnehmung von Transparenz und Rückmeldung verdeutlicht, dass Gamification von Arbeitspersonen als Kontrollinstrument interpretiert werden kann. Daraus ergibt sich die Implikation, Transparenz, Zweckbindung und Mitbestimmung als zentrale Gestaltungsprinzipien zu verankern.
- **Individualisierung vs. Standardisierung:** Zwar ist von den Interviewten gewünscht, dass Gamification an die Arbeitspersonen angepasst wird,

jedoch wird eine vollständige Individualisierung als organisatorisch und wirtschaftlich kaum realisierbar eingeschätzt. Daraus ergibt sich die Implikation, Gamification anpassbar statt vollständig personalisiert zu gestalten.

- **Freiwilligkeit vs. Verbindlichkeit:** Gamification ist nicht widerspruchsfrei in bestehende Arbeitsstrukturen integrierbar. Arbeitspersonen wollen selbst entscheiden, ob sie an Gamification Maßnahmen teilnehmen, was jedoch institutionelle Fragen hinsichtlich der Umsetzbarkeit aufwirft. Es ergibt sich die Implikation Autonomie und Partizipation als leitende Prinzipien zu integrieren. Gamification sollte freiwillig nutzbar sein und darf keine Nachteile für Nicht-Nutzende erzeugen. Gleichzeitig muss sie so in Arbeitsprozesse eingebettet werden, dass sie nicht als zusätzliche Belastung wahrgenommen wird.

5. Fazit, Diskussion und Ausblick

Der Beitragt macht deutlich, dass Gamification im Zentrum diverser Spannungsfelder steht. Aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive zeigt sich, dass eine Reduktion von Gamification auf verhaltenspsychologische Wirkmechanismen zu kurz greift. Wird Gamification als Gestaltungsansatz verstanden, verschiebt sich der Fokus von gezielter Verhaltensbeeinflussung hin zur Gestaltung von Arbeit. Gamification wirkt dann nicht primär auf die Arbeitsperson, sondern ist Teil des Zusammenspiels von Mensch, Aufgabe, Technik und Organisation. Sie übernimmt eine strukturierende und unterstützende Funktion, etwa bei der Rückmeldung über Arbeitsergebnisse, der Gestaltung von Lern- und Handlungsspielräumen oder der Förderung kooperativer Arbeitsformen. Diese Perspektive wird durch die in Kapitel 2 dargestellten praxisbezogenen Wahrnehmungen gestützt. Die Interviewten bewerten Gamification weniger als isoliertes Motivationsinstrument, sondern verorten sie im Kontext bestehender Arbeitsprozesse, organisationaler Rahmenbedingungen und sozialer Dynamiken. Die geäußerten Potenziale und Vorbehalte verdeutlichen damit, dass Gamification in der Praxis als Bestandteil des Arbeitssystems wahrgenommen wird und entsprechend auch auf dieser Ebene gestaltet werden muss.

Die Einordnung von Gamification als Bestandteil sozio-technischer Arbeitssysteme erlaubt es, Wechselwirkungen mit Arbeitsaufgaben, Arbeitsorganisation, Mensch–Technik-Interaktion sowie sozialen und organisationalen Rahmenbedingungen systematisch zu berücksichtigen. Die Analyse praxisbezogener Wahrnehmungen verdeutlicht, dass Gamification weder eindeutig abgelehnt noch unkritisch befürwortet wird. Vielmehr zeigt sich eine ambivalente Bewertung, die durch Spannungsfelder geprägt ist. Auf dieser Grundlage wurden Implikationen für eine menschzentrierte Gestaltung von Gamification abgeleitet. Die Ergebnisse legen nahe, dass Gamification nur dann mit arbeitswissenschaftlichen Leitbildern vereinbar ist, wenn sie nicht als isoliertes Instrument implementiert wird, sondern in bestehende Arbeits- und Organisationsstrukturen integriert ist und Aspekte wie Autonomie, Partizipation, Lernförderlichkeit und Datenschutz berücksichtigt. Der Beitrag leistet damit einen Beitrag zur arbeitswissenschaftlichen Diskussion von Gamification in der Produktion.

Aus den Ergebnissen dieses Beitrags ergibt sich der Bedarf, Gamification weiter als Gestaltungselement sozio-technischer Arbeitssysteme zu untersuchen. Zukünftige Arbeiten sollten insbesondere analysieren, wie Gamification in Arbeitsaufgaben und

Arbeitsorganisationen integriert werden kann, um die identifizierten Spannungsfelder auszubalancieren. Darüber hinaus ist zu untersuchen, wie Gamification nachhaltig in realen Produktionsumgebungen und über längere Zeiträume eingesetzt werden kann ohne negative Auswirkungen für Arbeitspersonen und Produktionsunternehmen zu erzeugen.

6. Literatur

Assis, Luciana S.; Freitas, Sergio A. A. (2023): Gamification in Organizational Contexts: A Systematic Literature Review. In: HCI in Business, Government and Organizations. 10th International Conference, HCIBGO 2023, Copenhagen, Denmark, July 23–28, 2023, Proceedings, Part I, Bd. 14038. Cham: Springer Nature Switzerland; Imprint Springer, S. 331–352.

Busch, Fabian; Fenge, Robert; Ochsen, Carsten (2025): The hiring of older workers: evidence from Germany. In: Empir Econ (Empirical Economics) 68, S. 139–163. DOI: 10.1007/s00181-024-02637-5.

Deterding, Sebastian; Dixon, Dan; Khaled, Rilla; Nacke, Lennart (2011): From game design elements to gamefulness: defining "gamification". In: Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments (MindTrek '11), S. 9–15.

Dombrowski, Uwe; Krenkel, Philipp (Hg.) (2021): Ganzheitliches Produktionsmanagement. Strategischer Rahmen und operative Umsetzung. Springer-Verlag GmbH. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.

Ferreira, Ana Teresa; Araújo, Alexandra M.; Fernandes, Sandra; Miguel, Isabel Cerca (2017): Gamification in the Workplace: A Systematic Literature Review. In: Recent Advances in Information Systems and Technologies. Volume 3, Bd. 571. Cham: Springer International Publishing (Advances in Intelligent Systems and Computing, v.571), S. 283–292.

Hamari, Juho; Koivisto, Jonna; Sarsa, Harri (2014): Does Gamification Work? -- A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. In: 47th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2014. 6 - 9 Jan. 2014, Waikoloa, Hawaii ; proceedings. 2014. Shidler College of Business; IEEE Computer Society. Piscataway, NJ: IEEE, S. 3025–3034.

Hanus, Michael D.; Fox, Jesse (2015): Assessing the effects of gamification in the classroom: A longitudinal study on intrinsic motivation, social comparison, satisfaction, effort, and academic performance. In: Computers & Education 80, S. 152–161. DOI: 10.1016/j.compedu.2014.08.019.

Kuckartz, Udo; Rädiker, Stefan (2024): Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Umsetzung mit Software und künstlicher Intelligenz. 6. Auflage. Weinheim: Juventa Verlag. Online verfügbar unter https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-3155932.

Randel, Amy E. (2025): Inclusion in the Workplace: A Review and Research Agenda. In: Group & Organization Management 50 (1), S. 119–162. DOI: 10.1177/10596011231175578.

Schlick, Christopher; Bruder, Ralph; Luczak, Holger (2018): Arbeitswissenschaft. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.

Seaborn, Katie; Fels, Deborah I. (2015): Gamification in theory and action: A survey. In: International Journal of Human-Computer Studies 74, S. 14–31. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2014.09.006.

Stahl, Günter K.; Maznevski, Martha L.; Voigt, Andreas; Jonsen, Karsten (2010): Unraveling the effects of cultural diversity in teams: A meta-analysis of research on multicultural work groups. In: J Int Bus Stud 41 (4), S. 690–709. DOI: 10.1057/jibs.2009.85.

Förderkennzeichnung: Diese Forschung wird von PROFuture@TH-OWL (Fördernummer 03FHP230E) finanziert, das Teil der BMFTR-Förderlinie „FH Personal“ ist und mit Mitteln des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) sowie der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz (GWK) unterstützt wird. Darüber hinaus wird diese Forschung von der Phoenix Contact Stiftung finanziert.

Arbeiten bis 70 – wie kann es funktionieren?

Angela SCHORR

Department für Psychologie, Medienpsychologie & Pädagogische Psychologie
Fakultät II, Universität Siegen
Obergraben 23, D-57072 Siegen

Kurzfassung: In einer Pilotstudie wurden Daten aus einer größeren Befragung zu Digitalen Skills und Technologieakzeptanz ausgewertet (N=618, 16–90 Jahre). N=291 Personen wurden in drei Altersgruppen aufgeteilt: 45–59, 60–70 und 71–80 Jahre. Ziel war es zu erkunden, mit welchen personenbezogenen Voraussetzungen neue Lebensarbeitszeit-modelle erfolgreich umgesetzt werden können. Erfasst wurden Digitale Kompetenz & Technologieakzeptanz, Lernstrategien, Gesundheit & Sport und zentrale Indikatoren psychischer Verfasstheit: die Grundbedürfnisse Kompetenz und Autonomie, sowie die psychologischen Traits Mood Resistance, persönliche Betroffenheit und Perspektivenübernahme. Die Gruppen der 45–59 und 60–70 Jährigen weisen auf den meisten Dimensionen keine signifikanten Unterschiede auf – auch nicht bei der Selbsteinschätzung der Digitalen Kompetenz. Eine Ausnahme bildet die Digitale Technologie*akzeptanz*, die bereits bei den 60-70 Jährigen im Vergleich zu den 45-59 Jährigen statistisch signifikant geringer ausfällt; gleiches gilt für die *Social Norm*, die wahrgenommene soziale Anforderung, sich stärker mit digitalen Medien zu befassen. Die Gruppe der 71–80 Jährigen unterscheidet sich hingegen auf vielen Dimensionen signifikant von den beiden jüngeren Gruppen. Die Ergebnisse sprechen dafür, auch ältere Beschäftigte systematisch und ohne Altersbegrenzung fortzubilden.

Schlüsselwörter: Technologieakzeptanz, Digitale Transformation, Lebensarbeitszeit, Aktivrente

1. Einführung

Die Digitale Transformation ist eine Innovation im Arbeitsleben, die man auch als großes Experiment begreifen kann, ein besonderer Anwendungsfall, der sich eignet zu erkunden, wie anpassungs- und leistungsfähig Menschen am Arbeitsplatz im höheren und höchsten Lebensalter tatsächlich sind. Flexiblere Lebensarbeitszeit-modelle werden häufig im Kontext der Rentenfinanzierung und des Fachkräftemangels diskutiert, - so zum Beispiel das Gesetz zur Aktivrente als aktuellste Problemlösungsvariante. Aus repräsentativen Umfragen weiß man, dass je höher die Qualifikation, desto häufiger sind Menschen bereit über das Renten-eintrittsalter hinaus zu arbeiten (Hasselhorn & Ebener, 2025). Die enge Orientierung der Forschung an Verbleib- und Ausstiegsmotiven sowie am Bildungs-level, statt konkret an personenbezogenen Merkmalen bzw. Schlüsselkompetenzen für die Bewältigung von beruflichen Aufgaben zu forschen, ist jedoch für die anstehenden gesellschaftspolitischen Entscheidungen wenig zielführend. Ohnehin arbeiten derzeit in Deutschland bereits 20,8% der 65-69-Jährigen über den 65. Geburtstag hinaus (Destatis, 2025). Auch mit Blick auf die langfristigen Folgen eines späten

Berufsausstiegs für den Einzelnen (Giesecke, 2019) brauchen wir mehr und verlässliche Erkenntnisse. Die hier vorgestellten Ergebnisse einer Pilotstudie auf der Basis vorhandener Daten zur Digitalen Technologieakzeptanz (=Anwendungsfall) dient der Prüfung geeigneter Instrumente für die weitere Forschung.

2. Methodisches Vorgehen: Stichprobe, Instrumente

Zunächst einige Eckwerte zu der nach Alter zusammengestellten Stichprobe (N=291): Die Altersgruppen verteilen sich wie folgt: 45–59 Jährige: n=137; 60-70 Jährige: n=80; 71–80 Jährige: n=74. Bezogen auf das Bildungsniveau haben 68,6% der Befragten einen Hauptschul- bzw. Mittelschulabschluss und eine berufliche Ausbildung (Lehre); 31,4% der Befragten haben einen akademischen Abschluss und/oder sind Handwerks- bzw. Industriemeister. 44,3 % der Befragten sind männlich, 55,7% weiblich; der Anteil weiblicher Befragter erhöht sich in der Gruppe der 71–80 Jährigen auf 58,1%.

2.1 Auswahl Psychologischer Dimensionen und Messverfahren

Vorab ist anzumerken, dass die hier verwendeten Instrumente auf ihre interne Konsistenz und Dimensionalität (Cronbachs Alpha, Faktorenanalyse) für diese Stichprobe nochmals überprüft wurden (vgl. Schorr, 2023; Schorr & Gorovoj, 2025). Aus dem vorhandenen Instrumentarium wurde eine Auswahl getroffen, die beispielhaft die o.g. Zielsetzung veranschaulichen soll. Die statistische Auswertung wird von der zentralen Hypothese geleitet, dass sich die Gruppe der 45-59 Jährigen von der der 60-70 Jährigen auf den meisten hier gemessenen Dimensionen nicht unterscheidet, was dafür sprechen würde, dass ein später Renteneinstieg empfehlenswert und sinnvoll sein kann.

Die Instrumente zur *Digitalen Kompetenz*, *Computeraffinität* und *Digitalen Technologieakzeptanz* greifen das Thema der Digitalen Transformation und damit die aktuell zentrale Innovation im Arbeitsleben auf. Die Skala *Social Norm* erfasst zusätzlich, wie intensiv die Befragten die soziale Anforderung wahrnehmen, sich im beruflichen wie privaten Leben stärker mit der digitalen Transformation zu befassen.

Die beiden Lernstrategie-Skalen erfassen erworbene Verhaltensmuster zur Aneignung neuen Wissens: Bei der Verfolgung von *Lern*zielen orientieren sich Individuen an individuellen Referenznormen und betrachten Feedback – sowohl positives wie negatives – als informativ und relevant für das Lernen. Bei der Verfolgung von *Leistungs*zielen hingegen wird negatives Feedback als bedrohlich empfunden und vermieden, während positives Feedback geschätzt wird (Geitz et al., 2016). Eine Studie aus der Arbeitswelt von Bakker et al. (2020) bestätigt, dass unabhängig davon, ob es sich um menschliches Feedback oder Feedback aus einem digitalen System handelt, gilt: Lernende, die primär Leistungsziele verfolgen, brauchen für das Erlernen neuer Inhalte deutlich mehr Trial-and-Error-Strategien, während Lernende, die primär Lernziele verfolgen, neue (digitale) Anwendungen systematischer und selbstgesteuerter erkunden.

Die Selbsteinschätzung eigener *Gesundheit* und *Sportlichkeit* stellt ein weiteres sinnvolles Element zur Differenzierung der drei Altersgruppen dar.

Die Grundbedürfnisse nach *Autonomie* und *Kompetenz* haben einen nachhaltigen Einfluss auf die Person (Brand & Ekkekakis, 2021; Deci & Ryan, 2011; Van den Broeck et al., 2016) und sind universell (Chen et al., 2015). Beide Bedürfnisse treiben das

Leistungsverhalten an (Mlekus et al., 2021; Paruzel et al., 2020). Das Bedürfnis nach Kompetenz umfasst psychologische Aspekte, die üblicherweise unter Begriffen wie Entschlossenheit und Ehrgeiz am Arbeitsplatz zusammengefasst werden (Legault, 2020). Mlekus et al. (2021) empfehlen, Mitarbeitern bei der Einführung neuer Technologien das Gefühl zu geben, die Situation unter Kontrolle zu haben. Sie bewerten die Erfüllung des Autonomie-Bedürfnisses für eine erfolgreiche Mitarbeit als unerlässlich (Mlekus et al., 2021; Paruzel et al., 2020). Xie et al. (2023) konnten bei Mitarbeitern mittleren Alters zeigen, dass der Zugang zu Trainings im Bereich digitaler Technologien die Befriedigung ihres Autonomiebedürfnisses signifikant erhöht.

Die Skala *Stimmungsresistenz* (mood resistance) erfasst, wie unabhängig die Person von der Stimmungslage des Umfelds zu handeln befähigt ist (keine Ansteckung).

Die Skala *Perspektivenübernahme*, d.h. die Fähigkeit die Motive und Bedürfnisse des Gegenübers zu erkennen und richtig zu bewerten, ist eine zentrale Empathie-dimension, die für den Wissenstransfer zwischen den Generationen ebenso zentral ist wie für das Verhandeln von Verträgen, den Umgang mit Kunden etc.

Mit der Skala *Persönliche Betroffenheit* wird eine Empathieleistung erfasst, die die empathische Fokussierung auf die eigene Person thematisiert. Hohe Werte auf dieser Skala stehen im Verdacht zur Blockierung anderer empathischer Leistungen (hier Perspektivenübernahme) zu führen (Parker et al., 2008; Kim & Han, 2018; Ku et al., 2015)

2.2 Gruppendifferenzen bei den 45-59 Jährigen, 60-70 Jährigen und 71-80 Jährigen

Bei der Prüfung der Differenzen zwischen den drei Altersgruppen liegt der Fokus auf der Aufdeckung und Interpretation vorhandener bzw. fehlender Differenzen zwischen den Gruppen der 45-59 Jährigen und der 60-70 Jährigen.

3. Diskussion der Ergebnisse und Ausblick

Die Gruppen der 45–59 und 60–70 Jährigen weisen auf den meisten Dimensionen keine signifikanten Unterschiede auf. Auffällig ist die statistisch signifikant geringere digitale Technologieakzeptanz und damit einhergehend die geringere Bereitschaft der 60–70 Jährigen im Vergleich zu den 45-59 Jährigen, sich der sozialen Norm zu beugen sich stärker mit digitalen Medien zu befassen. Dazu passen die signifikant höheren Werte beim Autonomiestreben der 60–70 Jährigen im Vergleich zu den 45–59 Jährigen. Hier würde frühzeitige, regelmäßige Fortbildung Sinn machen, um eine solche Blockade gar nicht erst entstehen zu lassen! In Bezug auf viele für die erfolgreiche Berufsausübung wichtige Indikatoren wie die digitale Kompetenz und Computeraffinität, die Lernstrategien, die Selbsteinschätzung von Gesundheit und Sportlichkeit, dem Kompetenzstreben, der Stimmungsresistenz, der Fähigkeit zur Perspektivenübernahme und dem Level persönlicher Betroffenheit unterscheiden sich beide Gruppen jedoch nicht statistisch signifikant!

Hingegen unterscheidet sich die Gruppe der 71–80 Jährigen auf zahlreichen Dimensionen statistisch signifikant von beiden jüngeren Gruppen: Die Werte für die digitale Kompetenz, digitale Technologieakzeptanz und die Social Norm sind statistisch signifikant niedriger. Die wichtige Lernzielorientierung ist schwächer, die Werte für die körperliche Verfassung sind niedriger, die Werte für die Persönliche Betroffenheit fallen im Vergleich zu den jüngeren Gruppen signifikant höher aus. In

Bezug auf die Computeraffinität, das Kompetenzstreben, die Stimmungsresistenz und die Leistungszielorientierung (trial and error Lernen) unterscheidet sich die Gruppe der 71–80 Jährigen jedoch nicht von den beiden jüngeren Gruppen.

Tabelle 1: *Überblick über Gruppendifferenzen, basierend auf zweifaktoriellen Varianzanalysen (2 bzw. 3 Altersgruppen X Sex; berichtet werden hier nur die Altersgruppen-Ergebnisse!*

. **Skalen**	**Ergebnisse der Gruppenvergleiche**
Maße Digitaler Kompetenz & Akzeptanz	
Skala zur Selbsteinschätzung Digitaler Kompetenz	sign. geringere Werte bei den 71-80 Jährigen
Computeraffinitätsskala	n.s., keine Gruppendifferenzen
DTASrev Digitale Technologieakzeptanzskala	sign. geringere Werte für 60-70 und 71-80 Jährige
Social Norm Skala	sign. geringere Werte für 60-70 und 71-80 Jährige
Lernstrategien	
Lernzielorientierung (learning goal orientation)	sign. geringere Werte bei den 71-80 Jährigen
Leistungszielorientierung (performance orientation)	n.s., keine Gruppendifferenzen
Gesundheit & Sport	
Selbsteinschätzung Gesundheit	sign. geringere Werte bei den 71-80 Jährigen
Selbsteinschätzung Sportlichkeit	sign. geringere Werte bei den 71-80 Jährigen
Grundbedürfnisse (Basic Needs)	
Autonomiestreben	sign. höhere Werte bei den 60-70 Jährigen
Kompetenzstreben	n.s., keine Gruppendifferenzen
Indikatoren psychischer Verfassheit & Traits	
Stimmungsresistenz (mood resistance)	n.s., keine Gruppendifferenzen
Perspektivenübernahme (perspective taking)	n.s. keine Gruppendifferenzen
Persönliche Betroffenheit (personal distress)	sign. höhere Werte bei den 71-80 Jährigen

Fußnote: n.s. = keine signifikanten Gruppendifferenzen

Die Ergebnisse dieser Pilotstudie zeigen aber auch, – falls sie sich in einer größer angelegten Studie bestätigen lassen – dass sich das Arbeitsleben nicht endlos verlängern lässt. Mit Blick auf die Gruppe der 60-70 Jährigen liefern sie zugleich ein starkes Argument dafür, ältere Beschäftigte frühzeitig und ebenso regelmäßig fortzubilden wie jüngere Beschäftigte – Maßnahmen, die Unternehmen für Beschäftigte über 60 Jahren bislang gar nicht vorsehen (Hanrahan et al., 2017). Die hohe Veränderungsgeschwindigkeit der Arbeitswelt durch die digitale Transformation verstärkt diese Forderung, wenn ein Arbeitsleben bis 70 gelingen soll.

4. Literatur

Bakker AB, Petrou, P, Op den Kamp, EM, Tims, M (2020) Proactive vitality management, work engagement, and creativity: The role of goal orientation. Applied Psychology 69:351-378.

Brand R & Ekkekakis P (2021) Exercise behavior change revisited: Affective-reflective theory. Essentials of exercise and sport psychology: An open access textbook (pp. 62-92).

Chen B, Vansteenkiste M, Beyers W, Boone L, Deci EL, der Kaap-Deeder J, Duriez B, Lens W, Matos L, Mouratidis A, Ryan RM, Sheldon KM, Soenens B,Van Petegem S & Verstuyf J (2015). Basic psychological need satisfaction, need frustration, and need strength across four cultures. Motivation and Emotion 39(2): 216-236.

Deci EL, & Ryan, RM (2011) Levels of analysis, regnant causes of behavior and well- being: The role of psychological needs. Psychological Inquiry 22(1):17-22.

Destatis (2025). Datenbankauszug vom 23.06.2025. Spätere aktuellere Daten zur Erwerbstätigkeit nach Altersgruppe, Geschlecht, Arbeitsumfang, Bildungsabschluss und Wirtschaftszweig stehen in der Eurostat Datenbank zur Verfügung (https://ec.europa.eu/eurostat/de/data/database).

Geitz G, Joosten-ten Brinke D & Kirschner PA (2016) Changing learning behavior: Self-efficacy and goal orientation in PBL groups in higher education. International Journal of Educational Research 75:146-158.

Hanrahan EA, Huntoon Lindeman MI & Finkelstein LM (2017) Discounting seniors: Implications of age stereotypes at work. Translational Issues in Psychological Science 3(4):370-377.

Kim H & Han S (2018) Does personal distress enhance empathic interaction or block it? Personality and Individual Differences 124:77-83.

Legault L (2020) The need for competence. In: Zeigler-Hill V & Shakelford TK (Hrsg) Encyclopedia of Personality and Individual Differences, 3128-3129. Cham: Springer.

Mlekus, L, Kato-Beiderwieden, AL, Schlicher, KD & Maier, GW (2021) With a little help from change management. Effects of a short-term change intervention on employee attitudes and behavior. Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie 66:40-51.

Parker SK, Atkins PW & Axtell CM (2008) Building better workplaces through individual perspective taking: A fresh look at a fundamental human process. International Review of Industrial and Organizational Psychology 23:149-196.

Paruzel A, Bentler D, Schlicher KD, Nettelstroth W, Maier GW (2020) Employees first, technology second: implementation of smart glasses in a manufacturing company. Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie 64:46-57.

Schorr A (2023) The technology acceptance model (TAM) and its importance for digitalization research: A review. In: Gerber N & Zimmermann V (Hrsg) Proceedings of the International Symposium on Technikpsychologie. *SCIENDO*, 55-66.

Schorr A & Gorovoj A (2025) Employees' acceptance of digital technologies. Assessment tools for a comprehensive evaluation of digital technologies during implementation. Journal of Humanities, Arts, and Social Science 9(8):1579-1597.

Van den Broeck A, Ferris DL, Chang CH, Rosen, CC (2016). A review of self-determination theory's basic psychological needs at work. Journal of Management 42(5):1195-1229.

Xie H, Fang Y, Wang M, Liu J, & Lv A (2023) Providing digital technology training as a way to retain older workers: The importance of perceived usefulness and growth need. Work, Aging and Retirement 9(4):376-392.

Die Gesundheitsberufe und die digitale Transformation – eine Handlungsempfehlung

Alexander Gorovoj[1], Angela Schorr[2]
[1] Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO)
Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart
[2] Department für Psychologie, Medienpsychologie & Pädagogische Psychologie
Fakultät II, Universität Siegen
Obergraben 23, D-57072 Siegen

Kurzfassung: Dass die Gesundheitsberufe der digitalen Transformation eher kritisch gegenüberstehen, ist seit langem bekannt. Erhebungen dazu stammen mehrheitlich aus der Zeit vor der Pandemie. Für diese Studie wurden Daten einer in der Pandemie durchgeführten Mehrgenerationen-studie verwendet. 50 Angehörige von Gesundheitsberufen (Ärzte, Pflegekräfte, Psychotherapeuten, Physiotherapeuten, Hebammen) wurden mit 50 Personen einer Parallelstichprobe (nach Alter, Bildungsniveau, Geschlecht angeglichen) auf folgenden Dimensionen verglichen: Lebens- & Arbeitssituation, Gesundheit & Sport, Digitale Kompetenz, Digitale Technologieakzeptanz, Lernstrategien und Grundbedürfnisse. Ergebnisse: Die eingesetzten Befragungsinstrumente erweisen sich als aussagekräftig. Es wird deutlich, dass die Angehörigen der Gesundheitsberufe der fortschreitenden Digitalisierung, insbesondere in Bezug auf ihren Kern, den *Nutzen digitaler Technologien* (perceived usefulness), signifikant kritischer gegenüberstehen als die Befragten der Parallelstichprobe. Zu berücksichtigen ist: Ihnen fehlen aus der Pandemiezeit die Erfahrungen mit Home Office und weiteren Folgen der Digitalen Transformation, die die Mitglieder der Parallelstichprobe gemacht haben. Sie waren Tag und Nacht für ihre Patienten im Einsatz. Digitale Transformationsprojekte, wie sie im Zuge der Kostendiskussion im Gesundheitswesen eingefordert werden, sollten sorgfältig von User-Befragungen auf der Basis valider Instrumente begleitet werden, um eine erfolgreiche Implementation sicher zu stellen.

Schlüsselwörter: Gesundheitsberufe, Digitale Technologieakzeptanz, Digitale Transformation

1. Einführende Skizze zur Digitalen Transformation im Gesundheitswesen

Bis heute befassen sich die meisten internationalen Studien – das gilt auch für den deutschsprachigen Raum – beim Thema digitale Transformation im Gesundheits-wesen vorzugsweise mit telemedizinischen Fragestellungen, Fragestellungen zur Onlineberatung/-behandlung, mit der elektronischen Patientenakte, sowie mit der Erprobung Mobiler Apps und sonstiger digitaler Gesundheitsanwendungen. Häufig steht dabei die Akzeptanz durch die *Patienten* im Mittelpunkt (z.B. Alexandra et al., 2021; Adnan et al. 2025; Buawangpong et al., 2025; Harst et al., 2019; Hastall et al., 2017; Joshi et al., 2025; Hochmuth et al., 2020 Park et al., 2024; Portz et al., 2019; Rahimi et al., 2018; Sands & Finn, 2025; Frings et al., 2023; Rösler et al., 2025; Steubl et al., 2025; Wang et al., 2025). Konzeptionelle Basis ist oft das Technology Acceptance Modell (TAM; Reviews von AlQudah et al., 2021; Kartti & Mandiello, 2025;

Stoumpos et al., 2023). Als zuverlässigste Indikatoren zur Vorhersage von Akzeptanz erweisen sich dabei regelmäßig die TAM-Dimensionen perceived usefulness (PU) und perceived ease of use (PEU); weitere zuverlässige Indikatoren sind die TAM-Dimensionen attitude of usage (ATT) und behavioral intention to use (BI). Das gilt nicht nur für Gruppe der Patienten/User, sondern auch für Akzeptanzmessungen bei Angehörigen der verschiedenen Gesundheitsberufe.

Einschlägige Studien/Forschungsreviews, die sich mit dem *Gesundheitspersonal* und seinem Umgang mit der digitalen Transformation befassen, findet man deutlich seltener! Es scheint fast selbstverständlich zu sein, dass Ärzte, Pflegekräfte, Psychotherapeuten, Physiotherapeuten, Hebammen etc. sich auf die neuen Konditionen in ihrem beruflichen Alltag einstellen. Aus Umfragen der *Ärzteschaft* während und nach der Pandemie, sowie Studien zur Reaktion von *Pflegepersonal* auf digitale Innovationen zur Arbeitserleichterung bzw. Trainings mit digitalen Anwendungen (vgl. Güsken et al., 2021; Frings et al., 2023) wissen wir, dass es erhebliche Vorbehalte gegenüber der fortschreitenden Digitalisierung im Gesundheitswesen gab und weiterhin gibt (Rohleder, 2022; Wintergerst, 2025; s. auch Eckdatenstudien Physiotherapie von ETL ADVISION, 2024). Sie unterscheiden sich auch nach Berufsgruppen: So spielt bei den *niedergelassenen Gesundheitsberufen* nicht nur die mit der Digitalen Transformation einhergehende Organisations- und Kostenwelle eine Rolle. Digitale Patientengespräche und Interventionen können schließlich auch zu Vertrauens- und Informationsverlusten mit Folgen für die Patient-Behandler-Beziehung und die Patienten selbst führen (Jarva et al., 2023). Die *ambulanten Pflegeberufe* mit ihrem zeitlich eng getaktetem, komplexen Arbeitsalltag haben ganz andere Herausforderungen: Sie verfügen z.B. selten über freie Kapazitäten für zusätzliche digitale Dokumentation oder Trainings mit neuen (evtl. arbeitserleichternden) digitalen Technologien (Rösler et al., 2025).

2. Zur aktuellen Studie: Hypothese, Stichprobe, Instrumente, Ergebnisse

Die zentrale Ausgangshypothese, auf der diese Studie aufbaut, lautet: Die aktive und erfolgreiche Tätigkeit der Gesundheitsberufe zu Pandemiezeiten auf Basis bekannter und weitgehend konventioneller Verhaltens- und Behandlungsroutinen birgt das Potenzial, die heutige Umsetzung digitaler Transformationsprozesse im Gesundheitswesen zu erschweren.

Im Sinne einer Forschungsfrage gilt es herauszufinden, ob und wie sich die Gruppe der Gesundheitsberufe von der Gruppe der gleichaltrigen und vergleichbar qualifizierten Befragten in der Pandemiezeit unterscheidet. Zur Beantwortung wurden die Daten zu den in Tabelle 1 aufgeführten Instrumenten analysiert: Fragebogen zur Digitalen Kompetenz und Akzeptanz, zu Lernstrategien und zu Grundbedürfnissen.

Vorab werden beide Gruppen in Bezug auf ihre Lebens- und Arbeitssituation kurz beschrieben: 75,5% der Befragten mit Gesundheitsberufen arbeiteten in der Pandemie außer Haus, während im Vergleich dazu nur 49% der Parallelgruppe noch außer Haus arbeitete. In Bezug auf die Lebenspartner arbeiteten bei den Befragten der Gesundheitsberufe nur 17% im Home Office, während bei den Befragten der Parallelstichprobe bereits 34,7% der Lebenspartner im Home Office tätig waren. Beide Gruppen bewerteten sich in Bezug auf die Zeit vor Corona und die Coronazeit selbst als bei guter Gesundheit, wobei die Bewertung der Parallelgruppe für die Coronazeit statistisch signifikant geringer ausfällt. Auf dem Stimmungsbarometer (9-stufig, energiegeladen/aktiviert vs. müde/abgespannt) fühlten sich die Befragten in der

Parallelgruppe statistisch signifikant müder als die Befragten der Gesundheits-berufe. Keine signifikanten Differenzen zwischen beiden Gruppen gab es hingegen bei der Einschätzung der eigenen Sportlichkeit. Dennoch: Insgesamt erlebten die Befragten der Parallelgruppe sich in der Pandemiezeit also als müder und weniger gesund als die Befragten der Gesundheitsberufe (vgl. dazu auch die Studie von Nicolaou et al., 2021)! Zu den Ergebnissen auf den weiteren Dimensionen Digitale Kompetenz & Akzeptanz, Lernstrategien und Grundbedürfnisse, s. Tabelle 1.

Tabelle 1: *Instrumente zum Gruppenvergleich Gesundheitsberufe vs. Parallelstichprobe Statistik: zweifaktorielle Varianzanalysen Gruppe X Sex.*

Skalen (Skalierung: *trifft nicht zu* 1 2 3 4 5 *trifft voll zu*)	**Ergebnisse der Gruppenvergleiche**
Maße Digitaler Kompetenz & Akzeptanz	
Skala zur Selbsteinschätzung Digitaler Kompetenz	Keine signifikanten Differenzen
Computeraffinitätsskala	Keine signifikanten Differenzen
DTASrev Digitale Technologieakzeptanzskala	**signifikante Differenzen, d.h. höhere Werte für die Parallelstichprobe, ausgelöst durch signifikant geringere Werte auf der Teilskala „Perceived Usefulness“ (PU) bei der Health-Gruppe!**
Social Norm Skala	Keine signifikanten Differenzen
Lernstrategien	
Lernzielorientierung (learning goal orientation)	Höhere Werte für die Frauen bei beiden Gruppen
Leistungszielorientierung (performance orientation)	Keine signifikanten Differenzen
Grundbedürfnisse (Basic Needs)	
Autonomiestreben	auf dem 10% Niveau höhere Werte bei der Parallelgruppe
Kompetenzstreben	keine signifikanten Differenzen

Als zentrales Instrument kam in dieser Studie auch die revidierte Digital Technology Acceptance Scale (DTASrev) zum Einsatz (vgl. Schorr, 2020; Schorr & Gorovoj, 2025). Trotz der für eine Faktorenanalyse sehr knappen Anzahl an Probanden bestätigte sich auch hier die vierfaktorielle Struktur der Skala mit den Dimensionen PU, PEU, ATT und BI, wie Tabelle 2 zeigt:

Tabelle 2: *Analyse der Dimensionalität der Digitalen Technologieakzeptanzskala (DTASrev,14 Items, N = 100; Faktorenanalyse mit Varimax-Rotation).*

DTASrev ***trifft nicht zu*** **1 2 3 4 5** ***trifft voll zu***	**Faktor 1 (PU)**	**Faktor 2 (PEU)**	**Faktor 3 (ATT)**	**Faktor 4 (BI)**
TArev1 Digitale Medien einzusetzen verbessert meine Arbeit.	**,84154**	,03400	,16877	,16759
TArev2 Der Einsatz Digitaler Medien steigert meine Effektivität.	**,85366**	,22006	,22841	,23263
TArev3 Durch den Einsatz Digitaler Medien bin ich produktiver.	**,81108**	,20681	,24799	,26830
TArev4 Digitale Medien sind bei meiner Arbeit nützliche Tools.	**,80757**	,26420	,20669	,18000
TArev5 Digitale Medien sollen bei mir in der Zukunft häufiger zum Einsatz kommen.	,34930	,23191	,30208	**,76414**
TArev6 Die Nutzung digitaler Medien werde ich künftig noch auf weitere Bereiche ausdehnen.	,31019	,18606	,29130	**,81359**
TArev7 Digitale Medien so anzuwenden, wie ich es brauche, fällt mir leicht.	,31492	**,80473**	,16327	,21190
TArev8 Beim Einsatz digitaler Medien muss ich nicht lange nachdenken.	,24787	**,81701**	,22760	,19660
TArev9 Ich gehe mit Digitalen Medien geradlinig und klar um.	,30681	**,80761**	,23633	,14572
TArev10 Digitale Medien nutze ich ganz unbekümmert.	,10418	**,60070**	,48161	,02179
TArev11 Digitale Medien machen Spaß.	,21314	,46760	**,66677**	,10502
TArev12 Ich freue mich auf die Bereiche meiner Arbeit, die mit Digitalen Medien zu tun haben.	,46618	,21438	**,65757**	,28227
TArev13 Ich genieße den Einsatz Digitaler Medien.	,29878	,28872	**,76326**	,21717
TArev14 Digitale Medien überall einzusetzen, ist meine Leidenschaft.	,14337	,15428	**,75890**	,34655
Anmerkung: Die umfassende Bezeichnung „Digitale Medien“ kann durch spezielle Einzelprodukte (Software; Hardware) je nach Fragestellung ersetzt werden (vgl. Schorr, 2020; Schorr & Gorovoj, 2025).				

3. Diskussion

Aus den hier vorgestellten Ergebnissen wird ersichtlich, dass die befragten Mitglieder der Gesundheitsberufe, die in der Coronazeit sehr aktiv und gefordert waren, diese Zeit gesundheitlich und psychisch besser bewältigt haben als die Mitglieder der Parallelstichprobe. Tatsächlich gibt es nach unserer Kenntnis bis heute keine Studie zur digitalen Technologieakzeptanz, die solche Gruppenvergleiche (Angehörige von Gesundheitsberufen im Vergleich anderen Berufsgruppen) vorgenommen hat bzw. plant, obwohl dies auch für die künftige Forschung sinnvoll wäre. Dass sich lang eingeübte und bewährte berufliche Routinen in der Coronazeit bei den Gesundheitsberufen verfestigt haben, lässt sich aufgrund der Ergebnisse ablesen. Schon zuvor waren die Gesundheitsberufe diesen Entwicklungen gegenüber kritisch eingestellt. Dass die Digitale Transformation in der heutigen Post-Corona Phase sie daher noch deutlich stärker betrifft und stärker stresst als andere Berufsgruppen, wurde hier zwar nicht gemessen, ist aber dennoch plausibel zu vermuten. Generell brauchen solche Veränderungen Zeit, denn es gilt emotionale und kognitive Barrieren und manche Verhaltensroutinen zu verabschieden (Frings et al., 2023; Lee et al., 2025). Die Erkenntnis bleibt: Mit allen Beteiligten gut abgestimmte und sorgfältig evaluierte Implementationsinitiativen sind im Gesundheitsbereich derzeit das Gebot der Stunde!

4. Literatur

Adnan A, Irvine RE, Williams A, Harris M, & Antonacci G (2025) Improving Acceptability of mHealth Apps—The Use of the Technology Acceptance Model to Assess the Acceptability of mHealth Apps: Systematic Review. Journal of Medical Internet Research 27: e66432.

Alexandra S, Handayani PW, & Azzahro F. (2021) Indonesian hospital telemedicine acceptance model: the influence of user behavior and technological dimensions. Heliyon 7(12): e08599.

AlQudah AA, Al-Emran M & Shaalan, K (2021) Technology acceptance in healthcare: a systematic review. Applied Sciences 11(22): 10537.

Buawangpong, N, Siviroj, P, Pinyopornpanish, K & Sirikul W (2025) Transcultural Adaptation, Validation, Psychometric Analysis, and Interpretation of the 22-Item Thai Senior Technology Acceptance Model for Mobile Health Apps: Cross-Sectional Study. JMIR Aging 8: e60156.

ETL-ADVISION (2024) 2. Eckdatenstudie Physiotherapie 2024. Käuflich zu erwerben unter: https://advision.etl.de/de-de/download_adv_tt_digi_eckdatenstudie_2024.

Frings K Güsken SR, Schütz, B, & Bitter-Krahe, J (2023) Technologieakzeptanz in der Digitalisierung der ambulanten Pflege – eine Fallstudie. In S Kauffeld & S Rothenbusch (Hrsg.) Kompetenzen von Mitarbeitenden in der digitalisierten Arbeitswelt. https://10.1007/978-3-662-66992-1_4

Güsken SR, Frings K, Zafar F, Saltan T, Fuchs-Frohnhofen P, & Bitter-Krahe J (2021) Einflussfaktoren auf die Nutzungsintention von Pflegekräften zur Verwendung digitaler Technologien in der ambulanten Pflege–Fallstudie zur Einführung eines Sensortextils. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 75(4): 470-490.

Harst L Lantzsch H & Scheibe M (2019) Theories predicting end-user acceptance of telemedicine use: systematic review. Journal of Medical Internet Research 21(5): e13117.

Hastall MR, Dockweiler C & Mühlhaus J (2017) Achieving end user acceptance: Building blocks for an evidence-based user-centered framework for health technology development and assessment. In: International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction (pp. 13-25). Cham: Springer International Publishing.

Hochmuth A, Exner AK & Dockweiler C (2020) Implementierung und partizipative Gestaltung digitaler Gesundheitsinterventionen. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz *63*(2):145-152.

Jarva E, Oikarinen A, Andersson J, Tomietto M, Kääriäinen M, & Mikkonen K (2023). Healthcare professionals' digital health competence and its core factors; development and psychometric testing of two instruments. International Journal of Medical Informatics 171: 104995.

Joshi R, Schlesinger S. & Bengler K (2025) Who is my user? Investigating user characteristics influencing the intention to use symptom checkers. GfA, Sankt Augustin (Hrsg.) Frühjahrskongress 2025: 1159-1164.

Kartti N, & Mandiello A, Eds (2025) Mapping Technology Acceptance in Healthcare: Insights from a Systematic. In: Advanced Perspectives and Trends in Digital Transformation of Firms, Networks, and Society, Springer Proceedings in Business and Economics, https://doi.org/10.1007/798-3-031-80692-6_15.

Lee AT, Ramasamy RK, & Subbarao A (2025) Understanding Psychosocial Barriers to Healthcare Technology Adoption: A Review of TAM and UTAUT Frameworks.

Nicolaou C, Menikou J, Lamnisos D, Lubenko J, Presti G, Squatrito V & Gloster AT(2021) Mental health status of healthcare workers during the COVID-19 outbreak. European Journal of Psychology Open.

Park YE. Tak YW, Kim I, Lee HJ, Lee JB, Lee JW & Lee Y (2024) User experience and extended technology acceptance model in commercial health care app usage among patients with cancer: mixed methods study. Journal of Medical Internet Research 26:e55176.

Rahimi B, Nadri H, Afshar H L, & Timpka T (2018) A systematic review of the technology acceptance model in health informatics. Applied clinical informatics 9(03): 604-634.

Rohleder B (2022) Digitalisierung in Praxis und Klinik. Hrsg:
https://www.bitkom.org/sites/main/files/2022-10/Bitkom_Charts_AerzteschaftDigital_2022_final.pdf

Rösler U, Schlicht L, Melzer M, Tschetsche L & Wendsche J (2025) Arbeitswissenschaftliche Perspektiven auf die digitale Pflegedokumentation: Eine Analyse systematischer Übersichtsarbeiten. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft: 1-12.

Sands D Z & Finn NB (2025) From Internet to Artificial Intelligence (Al) Bots: Symbiotic Evolutions of Digital Technologies and e-Patients. Journal of Participatory Medicine 17: e68911.

Schorr A (2020) Skala zur Erfassung der Digitalen Technologieakzeptanz–Weiterentwicklung zum testtheoretisch geprüften Instrument. GfA (Hrsg.): Frühjahrskongress 2020, Beitrag B.20.5, 1-6.

Schorr A & Gorovoj A. (2025) Employees' Acceptance of Digital Technologies: Assessment Tools for a Comprehensive Evaluation of Digital Technologies During Implementation. Journal of Humanities, Arts and Social Science 9(8):1579-1597.

Steubl LS, Büscher R, Sander LB, Baumel A, Barck K, Sachser C, Fegert JM, Brähler E, Baumeister H & Domhardt M (2025) Attitudes Towards Digital Health Interventions in Germany: Findings From a Population-Based Representative Survey. Clinical Psychology in Europe 7(3):1-21.

Stoumpos AI, Kitsios F & Talias MA (2023) Digital transformation in healthcare: technology acceptance and its applications. International journal of environmental research and public health 20(4):3407.

Wang Z, Wang Y, Zeng Y, Su J & Li Z (2025) An investigation into the acceptance of intelligent care systems: an extended technology acceptance model (TAM). Scientific Reports 15(1):17912.

Wintergerst, R (Hrsg) 2025 Digitalisierung in Praxis und Klinik.
https://www.bitkom.org/sites/main/files/2025-05/bitkom-praesentation-digitalisierung-in-praxis-und-kliniken-2025.pdf

Trauma in der Arbeitswelt

Lars Christian BÖRNER[1], Stephanie HARTUNG[2]

[1] FELD INSTITUT Hannover, Thielenkamp 40, D-38539 Müden/Aller
[2] FELD INSTITUT Köln, Kamekestraße 12, D-50672 Köln

Kurzfassung: Dieser Workshop transferiert die neurobiologischen und systemtheoretischen Erkenntnisse zum Thema „Trauma in der Arbeitswelt“, auf Basis der von Stephanie Hartung im gleichnamigen Buch (Hartung 2019) und im Vortrag auf diesem Kongress herausgestellten Erkenntnisse in die praktische Anwendung. Mittels **Systemaufstellungen** werden die im Vortrag erörterten Mechanismen des Verbindungsabbruchs und der systemischen Dysfunktion räumlich erfahrbar gemacht. Ziel ist es, die „Systemische Intelligenz“ zu nutzen, um Wege zu einer menschengerechten Arbeitsgestaltung aufzuzeigen und auch diese praktisch zu erfahren.

Schlüsselwörter: Trauma, posttraumatische Symptomatik, unterbrochene Verbindungen, Dysfunktionalitäten, Systemische Intelligenz, Systemaufstellungen

1. Theoretische Fundierung: Die Verschiebung des Resonanzraums

Die aktuelle Ausgangslage ist durch eine Kumulation globaler Polykrisen (geopolitische Instabilität, technologischer Transformationsdruck, ökonomische Prekarisierung) gekennzeichnet. Diese Faktoren wirken nicht nur als individuelle Stressoren, sondern destabilisieren über diesen Weg durch eine Art der gegenseitigen Infektion das **organisationale Feld**.

Im Workshop betrachten wir diese Belastungen nicht als isolierte Ereignisse, sondern als Teil eines transgenerationalen und sozialen Kontinuums. Die systemische Aufstellungsarbeit dient hierbei als Diagnoseinstrument, um die unbewusste Weitergabe von Traumafolgen im Arbeitskontext zu verdeutlichen, praktisch sichtbar und erfahrbar zu machen und gleichzeitig auch als Möglichkeit der Veränderung des existenten Dilemmas zu dienen.

2. Der „Verbindungsabbruch“ in der Aufstellungspraxis

Der zentrale Charakter der Traumasymptomatik – die **Dissoziation** – zeigt sich in Organisationen oft als radikaler Abbruch der Kommunikation und Empathie. Neurobiologisch als Inhibition des Broca-Areals und des Neokortex definiert, manifestiert sich dieser Zustand systemisch als:

- **Sprachlosigkeit** gegenüber kritischen Dynamiken (*Speechless Terror* im System).
- **Fragmentierung** von Teams (Verlust der Kohärenz).
- **Starre** (der „Freeze“-Zustand führt zu Handlungsunfähigkeit).

Im Workshop werden wir diese „leeren Stellen“ und abgebrochenen Linien im System durch Repräsentanten visualisieren. Dabei wird erlebbar, wie die neurobiologische Entkoppelung des Einzelnen das soziale Gefüge der Organisation fragmentiert.

3. Systemische Ausbreitung und der Circulus Vitiosus

Trauma agiert systemisch analog zu einem viralen Prozess. Angesichts der alarmierenden Zahlen (BAuA/DGPPN) zu psychischen Erkrankungen am Arbeitsplatz begreifen wir die resultierenden Produktionsausfälle als Symptom einer tieferliegenden **systemischen Dysfunktion**.

Organisationen als soziale Konstrukte spiegeln das psychische Verfassungsgefüge ihrer Akteure wider. Wenn individuelle Traumatisierungen nicht integriert werden, entstehen traumatisierte Resonanzräume. Im Workshop fokussieren wir uns auf den **Circulus vitiosus** aus Individueller Überforderung, Dissoziation und sozialer wie struktureller Gestaltung des Umfelds – sowie auf die Möglichkeiten, den Kreis zugunsten einer Integration und verbindenden Neugestaltung des Systems zu unterbrechen.

Individuelle Überforderung führt zu individueller Dissoziation – und diese wiederum führt zu

- **sozialer Dysfunktion** (z. B. Führungsfehler, Konflikte).
- **Gestaltung unterbrochener Strukturen** – in der Organisation, in Prozessen und in der Kommunikation.

Der Circulus vitiosus bringt eine systemübergreifende Dysfunktion hervor, die die Verletzlichkeit der Mitarbeitenden verstärkt und sie erneut für Traumatisierung empfänglich macht.

4. Methodik: Von der Symptomanalyse zur Systemischen Intelligenz

Der Workshop nutzt die phänomenologische Methode der Aufstellungsarbeit. Das bietet die Möglichkeit für:

- **Ressourcenorientierung**: Wiederherstellung der unterbrochenen Verbindungen (*Re-Connection*).
- **Lösungsbilder:** Entwicklung von Intervallen für eine menschengerechte Arbeitsgestaltung.
- **Systemische Intelligenz:** Aktivierung des kollektiven Wissens des Systems zur Überwindung von Erstarrungszuständen.

5. Transfer und Diskussion

Abschließend reflektieren wir die im Feld gewonnenen Erkenntnisse und diskutieren deren Übertragbarkeit in den betrieblichen Alltag. Der Workshop bietet den Teilnehmenden einen geschützten Raum, um die im Vortrag vermittelte Theorie durch die Methode der Aufstellung in unmittelbare Erfahrung zu übersetzen.

6. Literatur und Quellen

Hartung 2019, Trauma in der Arbeitswelt, Springer Gabler, Wiesbaden 2019
DGPPN, Deutsche Gesellschaft für Psychiatrie und Psychotherapie, Psychosomatik und Nervenheilkunde e.V, https://www.dgppn.de/schwerpunkte/zahlenundfakten.html
DESTATIS, Statistisches Bundesamt, https://www.destatis.de/ DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankheitskosten/_inhalt.html
BAUA, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, https://www.baua.de/DE/Themen/Monitoring-Evaluation/Zahlen-Daten-Fakten/Kosten-der-Arbeitsunfaehigkeit?

Trauma in der Arbeitswelt

Stephanie HARTUNG

FELD INSTITUT Köln
Kamekestraße 12, D-50672 Köln

Kurzfassung: Der Vortrag über **Trauma in der Arbeitswelt** von Stephanie Hartung informiert über die Ursachen und Dimensionen von individueller, sozialer und organisationaler Traumasymptomatik und die daraus entstehenden systemischen Dysfunktionen in der Arbeitswelt. Für deren Behebung zeigen wir zugunsten einer menschengerechten Arbeitsgestaltung Wege und Möglichkeiten auf, die wir in unserem anschließenden Workshop demonstrieren und erlebbar machen.

Schlüsselwörter: Trauma, posttraumatische Symptomatik, unterbrochene Verbindungen, Dysfunktionalitäten, Systemische Intelligenz

1. Die Ausgangssituation

Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Thematik **„Trauma in der Arbeitswelt“** erfuhr durch die gleichnamige Publikation von Stephanie Hartung (Hartung 2019) einen wesentlichen Impuls. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung war das Forschungsfeld im europäischen Raum weitestgehend unterrepräsentiert; die Resonanz in der Fachwelt und der unternehmerischen Praxis war zunächst von einer signifikanten Zurückhaltung geprägt.

Innerhalb der letzten fünf Jahre ist jedoch eine tiefgreifende Verschiebung im öffentlichen und organisationalen Diskurs zu beobachten. Das gestiegene Interesse lässt sich maßgeblich auf eine Kumulation globaler Krisenphänomene zurückführen (Polykrisen), die tradierte Sicherheitserwartungen destabilisiert haben:

- Geopolitische und ökonomische Instabilität: Die Eskalation internationaler Konflikte (u. a. Ukraine-Krieg, Nahost-Konflikt) sowie die Erosion der globalen Wirtschaftsordnung stellen den europäischen Markt vor strukturelle Herausforderungen.
- Transformationsdruck durch Technologie: Die rasant fortschreitende Integration Künstlicher Intelligenz führt zu einer Neudefinition von Berufsbildern und evoziert existenzielle Verunsicherungen hinsichtlich der individuellen Erwerbsbiografie.
- Sozio-ökonomische Prekarisierung: Werksschließungen, steigende Arbeitslosenzahlen und eine zunehmende politische Polarisierung verstärken den psychischen Druck auf das Individuum.

Diese komplexen Belastungsfaktoren treffen auf menschliche Dispositionen, die bei unzureichenden Resilienzressourcen die Gefahr einer Traumatisierung bergen. In der psychologischen Forschung besteht ein fundiertes Verständnis dieser Symptomatiken, wobei insbesondere die Erkenntnisse zur transgenerationalen Weitergabe von Traumata – induziert durch die historischen Erfahrungen des Zweiten Weltkriegs – eine wesentliche Referenz für die aktuelle Bewältigungsfähigkeit darstellen. Die Arbeitswelt steht somit vor der Herausforderung, psychische Belastungsfolgen nicht länger als privates Randphänomen, sondern als zentrale organisationale Aufgabe zu begreifen.

2. Der zentrale Charakter der Traumasymptomatik: Verbindungsabbruch

Der Moment oder auch andauernde Zustand, in dem eine Überforderung traumatisiert, ist gekennzeichnet durch eine Gleichzeitigkeit von psychischer Übererregung (Hyperarousal) und der wahrgenommenen Unausweichlichkeit der Situation (Inescapability)

Wenn die biologisch angelegten Stressreaktionen – Kampf oder Flucht (*fight or flight*) – aufgrund der Situationsdynamik nicht operationalisiert werden können, tritt ein tertiärer Überlebensmechanismus in Kraft: die Dissoziation. Das heißt in diesem Kontext: es erfolgt eine funktionale Unterbrechung der integrativen Funktionen des Bewusstseins, des Gedächtnisses und der Identität.

Diese Dissoziation korreliert mit einer signifikanten Veränderung der zerebralen Architektur: Während eine limbische Hyperaktivierung (insbesondere der Amygdala) zu emotionaler Überflutung führt, resultiert die simultane Inhibition des Broca-Areals und des Neokortex in einem Verlust der sprachlichen Artikulationsfähigkeit (*speechless terror*) sowie einer beeinträchtigten rationalen Einordnung des Geschehens als explizite Erinnerung.

Die Konsequenz dieser neurobiologischen Entkoppelung ist eine chronifizierte Symptomatik: Betroffene erleben die traumatische Situation wiederholt, als fände diese in der unmittelbaren Gegenwart statt. Die zeitliche Distanz zum Ereignis wird kognitiv nicht hinreichend verarbeitet, was das klinische Bild einer Posttraumatischen Belastungsstörung (PTBS) vervollständigt.

3. Posttraumatische Symptomatiken kreieren traumatisierte und dysfunktionale Resonanzräume

Wir wissen heute: Trauma wirkt gleich einem Virus, es breitet sich systemisch aus. Trauma-Reaktionen und -Symptomatiken werden genetisch vererbt, und sie werden interaktiv/sozial weitergereicht. Somit wird das individuelle Trauma zum sozialen Trauma. Im weiteren Miteinander übertragt sich das soziale Trauma auf alle Bereiche, und eben auch auf die Arbeitswelt.

Einzelne Menschen werden zunehmend psychisch krank, und die Zahlen sind alarmierend: Mehr als jeder vierte Erwachsene in Deutschland erfüllt im Jahresverlauf die Kriterien für eine psychische Erkrankung (Quelle DGPPN). Psychische Erkrankungen sind bei steigender Tendenz in 2025 mit 13,4% an den direkten Kranken-Behandlungskosten in einer gesamten Höhe von 491,6 Milliarden (2023) beteiligt. (Quelle: Statistisches Bundesamt). Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin schätzt, dass Produktionsausfälle aufgrund von Arbeitsunfähigkeit rund 134 Euro jährlich betragen (Quelle: BAUA).

Die individuellen Belastungsreaktionen entfalten eine erhebliche Wirkmacht auf organisationale Strukturen. Da Organisationen als soziale Konstrukte maßgeblich durch das psychische Verfassungsgefüge ihrer Akteure bestimmt sind, führen individuelle Traumatisierungen zwangsläufig zu systemischen Dysfunktionen, die wiederum im Arbeitsalltag eine schwächende oder auch traumatisierende Wirkung auf die Menschen haben. Hier schließt sich der Circulus Vitiosus.

4. Vortrag und Diskussion

Der Vortrag informiert über Ursache und Charakter der Traumasymptomatik; er zeigt vor diesem Hintergrund Dimensionen der sozialen Verbreitung auf und beleuchtet die Zusammenhänge. Und schließlich stellt er Wege und Möglichkeiten für den Umgang mit Trauma in der Arbeitswelt vor. Es besteht die Möglichkeit für Fragen und Diskussion.

5. Vortrag und Workshop

Im Anschluss an den Vortrag bietet Stephanie Hartung gemeinsam mit Ihrem FELD INSTITUT Partner Lars-Christian Börner einen Workshop, in dem das im Vortrag vermittelte Wissen und die aufgezeigten Lösungswege praktisch erfahrbar werden.

6. Literatur und Quellen

Hartung 2019, Trauma in der Arbeitswelt, Springer Gabler, Wiesbaden 2019
DGPPN, Deutsche Gesellschaft für Psychiatrie und Psychotherapie, Psychosomatik und Nervenheilkunde e.V, https://www.dgppn.de/schwerpunkte/zahlenundfakten.html
DESTATIS, Statistisches Bundesamt,
https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankheitskosten/_inhalt.html
BAUA, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, https://www.baua.de/DE/Themen/Monitoring- Evaluation/Zahlen-Daten-Fakten/Kosten-der-Arbeitsunfaehigkeit?

(Gem)einsam in der Arbeitswelt – Verbundenheit in erodierenden Arbeitszusammenhängen als zentrales Element menschengerechter Arbeitsgestaltung

Kerstin GUHLEMANN, Sonja KIRSCHALL

Sozialforschungsstelle, Technische Universität Dortmund
Evinger Platz 17, D-44339 Dortmund

Kurzfassung: Ziel des Beitrags ist es, arbeitsbezogene Verbundenheit als zentrale Ressource menschengerechter Arbeitsgestaltung zu konzeptualisieren. Methodisch werden Diskurse aus der Arbeitswissenschaft mit einer Kurzfallstudie in zwei IT-Unternehmen und einer Beratungsorganisation verknüpft. Die Ergebnisse zeigen, dass fehlende Verbundenheit eng mit den aktuellen Veränderungen der Arbeitswelt verknüpft ist, ihr Fehlen negative Effekte auf Gesundheit, Leistung und Zusammenhalt hat, ihre Förderung jedoch noch zu wenig konzeptionell unterstützt wird. Schlussfolgernd wird gefordert, arbeitsbezogene Verbundenheit systematisch als Forschungs- und Gestaltungsgegenstand zu etablieren, um nachhaltige Resilienz und Gute Arbeit in hybriden Arbeitswelten zu sichern.

Schlüsselwörter: Mensch und Arbeitssysteme, Psychische und physische Belastung, Arbeitsleistung und Zufriedenheit

1. Problemstellung – Arbeitsbezogene Verbundenheit als vernachlässigter Betrachtungsgegenstand

Die Zunahme der orts- und zeitflexiblen Arbeit im Zuge der Digitalisierung bedingt eine Diversifizierung von Arbeitsformen in Unternehmen und die Individualisierung von Arbeit. Dies führt zu einer Flexibilisierung und Hybridisierung der sozialen Beziehungen der Kolleg*innen untereinander und birgt das Risiko der Erosion des Betriebs als sozialem Ort und der Vereinsamung der Beschäftigten. Die in diesem Zusammenhang entstehenden salutogenen oder pathogenen Vorgänge auf Teamebene in ihrer Verwobenheit mit der mentalen Gesundheit auf Individualebene und damit in ihrer Bedeutung für die WHO-Kategorie des sozialen Wohlbefindens sind arbeitswissenschaftlich noch unterforscht.

In Anbetracht der u. a. aus der Entwicklungs-, Einsamkeits- und Netzwerkforschung bekannten hohen Bedeutung von gelingenden interpersonalen Beziehungen für das psychophysische Wohlbefinden, welches wiederum arbeitswissenschaftlich als Basis von Arbeitsfähigkeit und als Substrat resilienzförderlicher Ressourcen sowohl auf individueller als auch auf Teamebene verstanden werden kann, ist Verbundenheit in Arbeitsbeziehungen für die menschengerechte Gestaltung digitaler Arbeit ein Element, das verstärkter Aufmerksamkeit bedarf.

Der Beitrag hat daher zum Ziel, erste Überlegungen und Befunde zu einer arbeitswissenschaftlichen Ausarbeitung des Konzeptes arbeitsbezogener Verbundenheit beizusteuern. Dies geschieht über eine Verortung von Verbundenheit in anderen arbeitswissenschaftlichen Konzepten, die Darlegung der Auswirkungen fehlender Verbundenheit, der damit und mit den Versuchen ihrer Förderung

verknüpften betrieblichen Herausforderungen und schließlich einer Diskussion ihrer Operationalisierbarkeit als Messgröße.

Dabei werden Hinweise zu Verbundenheit aus bestehenden Diskursen und einer Kurzfallstudie zu diesem Thema aufgegriffen, die sich dem Gegenstand über eine Expert*innendiskussion mit Fach- und Führungskräften aus zwei IT-Betrieben und einer auf gesundheitsbezogene Beratung spezialisierten Organisation annähert.

2. Arbeitsbezogene Verbundenheit als Resilienzfaktor

Resilienz als Anpassungsfähigkeit von Unternehmen, Teams und Individuen an die sie konfrontierenden dynamischen Herausforderungen, die rechtzeitig erkannt, erfolgreich bewältigt, unter schneller Erholung verarbeitet und zur Weiterentwicklung genutzt werden wollen, ist in all ihren Facetten stark abhängig von funktionaler Wahrnehmungs-, Kommunikations- und Handlungsfähigkeit. Zentral hierfür sind interpersonale Prozesse des Austauschs zwischen verschiedenen Perspektiven in einem dafür geeigneten Organisationsklima (Soucek 2023). Soziale Verbundenheit als ermöglichender Faktor für die Nachhaltigkeit solcher Austauschprozesse und damit Substrat von Resilienz auf den drei Ebenen Individuum, Team und Organisation wird in arbeitswissenschaftlichen Publikationen und praktischen Handlungshilfen zu Resilienz erst allmählich und punktuell als relevant erkannt (Pauksztat 2022), obgleich eine Betrachtung der Auswirkungen fehlender bzw. vorhandener Verbundenheit ihre Relevanz evident macht:

Auf der individuellen Ebene wirken Ablehnungs- und Vereinsamungserfahrungen sowohl psychisch als auch physisch pathogen; sie senken die Arbeitsleistung (Sullivan/Bendell 2023) und erhöhen das Risiko für krankheitsbedingte Arbeitsausfälle (Luhmann 2019). Versuche kompensatorischer Herstellung von Verbundenheitserfahrung, bspw. durch nicht arbeitsbezogene Mediennutzung, können Cyberloafing und Social-Media-Sucht begünstigen (Çolak & Çetin 2021). Soziale Verbundenheit stärkt demgegenüber die individuelle psychophysische Resilienz und trägt maßgeblich zu salutogenen Faktoren Guter Arbeit wie der Erfahrung der eigenen Arbeit als sinnstiftend bei (Hüning et al. 2018).

Auf der Teamebene verringert fehlende Verbundenheit zwischen den Teammitgliedern Qualität und Quantität von interpersonellem Austausch und gegenseitiger Unterstützung, befördert Konflikte und senkt damit die Resilienzfaktoren Produktivität, Problemlösefähigkeit und Innovationskraft, die entsprechend durch ausgeprägtere Verbundenheit gesteigert werden können (Singler 2022). Eine wichtige Rolle für Resilienz spielt Verbundenheit darüber hinaus in der Phase des Mendings, d. h. bei den Heilungs-, Anpassungs- und Weiterentwicklungsprozessen, die Teams als Nachwirkung überstandener Krisen durchlaufen (Pauksztak 2022).

Auf der organisationalen Ebene kann fehlende Verbundenheit zwischen den Beschäftigten die Fluktuationsneigung erhöhen und zum Fachkräftemangel beitragen, während stärkere Sozialbeziehungen die Unternehmensbindung erhöhen, den Wissenstransfer verbessern, zum Abbau von Hierarchien beitragen und eine unterstützende Unternehmenskultur befördern, die wiederum auf den sozialen Zusammenhalt und das Wohlbefinden der Individuen zurückwirkt und damit zu einem nachhaltigen Resilienzaufbau beiträgt (D'Oliveira & Persico 2023).

3. Verbundenheit als steigende Herausforderung im Unternehmensalltag

Was im Kontext von Unternehmensberatungen bereits als „europäische Krise der Verbundenheit“ bezeichnet wird (Saukas 2022), ist auch bei den im Rahmen der Kurzfallstudie untersuchten Unternehmen aus der IT-Branche spürbar. Hier sind Auf- und Ausbau sozialer Verbundenheit zwischen den Beschäftigten ebenso zentral wie herausfordernd, u. a. da mit der fachkräftemangelbedingten Ausweitung der Personalrekrutierungsstrategien die weitere Diversifizierung der Belegschaft und Flexibilisierung der Arbeit verbunden sind.

In beiden Betrieben können *Gruppen mit besonders hoher sozialer Distanz* identifiziert werden. Diese ergibt sich durch 1) die variierende Frequenz der Präsenz im Betrieb unter hauptsächlich remote vs. vor Ort arbeitenden Beschäftigten, 2) kulturelle Unterschiede zwischen Beschäftigten aus unterschiedlichen Herkunftsländern, aber auch 3) aus der betrieblichen Sozialisation entstehende Differenzen zwischen Beschäftigten aus unterschiedlichen autarken Standorten mit eigener Standortkultur, 4) unterschiedliche Qualifikationsniveaus der im Unternehmen arbeitenden Berufsgruppen wie Elektriker*innen, Verwaltungskräfte und Fachinformatiker*innen sowie 5) im demografischen Wandel verstärkt auftretende Generationsunterschiede.

Für die Steigerung der Verbundenheit sehen die Unternehmen an mehreren betrieblichen Schlüsselstellen deutliche *Bedarfe*: So kann die bessere soziale Einbindung von Angehörigen kultureller Minoritäten die Unternehmen resilienter gegen rassistische Tendenzen machen. Darüber hinaus ergeben sich durch permanente Change-Prozesse zum Erhalt der unternehmerischen Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit gestiegene Bedarfe hinsichtlich reibungsfreier Kooperations- und Kommunikationsprozesse in einer resilienten, sozial zusammenhaltenden Belegschaft. Ein weiterer wichtiger Bereich ist das Onboarding. In dieser Phase ist der Lernaufwand der neuen Beschäftigten und der vom Stammpersonal geleistete Betreuungsaufwand hoch und eine gelingende Integration ins Unternehmen damit in hohem Maße vom vorherrschenden Sozialklima in den jeweiligen Teams abhängig. Eine ausgeprägte Verbundenheit kann hier beitragen, Fluktuation zu verringern.

Beide untersuchten Unternehmen haben somit fehlende Verbundenheit als Resilienzrisiko erkannt, aber Probleme mit der Identifikation geeigneter Maßnahmen zu deren nachhaltiger Herstellung.

4. Möglichkeiten und Herausforderungen beim Aufbau von Verbundenheit

Bei der Betrachtung von *Handlungshilfen*, die den Verbundenheitsaufbau in Unternehmen fördern könnten, zeigt sich, dass Hilfen, die den Fokus auf Resilienz setzen, höchstens einzelne Aspekte aus dem Bereich der Teamverbundenheit ansprechen – etwa das Betriebsklima oder die interpersonale Konfliktfähigkeit –, aber meist weder eine systematische Erfassung noch einen Zielgruppenzuschnitt erlauben. Die Bedeutung gelingender, salutogener Beziehungen wird hier immer noch eher im privaten Umfeld verortet, anstatt als resilienzrelevante Ressource im Arbeitsleben produktiv gemacht zu werden.

Zur Förderung von sozialer Verbundenheit in Belegschaften setzen vorhandene arbeitswissenschaftliche Empfehlungen unter anderem auf räumlich verbindende Maßnahmen der Arbeitsgestaltung sowie auf Teambuilding-Events und (kooperative) Teamspiele (z. B. BAuA 2020; Rodde & Kersten 2024).

Singuläre *Teambuilding-Angebote* werden im Arbeitskontext bereits seit geraumer Zeit genutzt, um das Gemeinschaftsgefühl innerhalb der Belegschaft zu stärken. Das Spektrum der Maßnahmen reicht dabei von Outdoor-Events über interaktive Gruppenübungen bis hin zu analogen oder virtuellen Spielformaten, die auf Kooperation und Zusammenhalt ausgerichtet sind. In jüngerer Zeit wurden hier insbesondere kooperative Spiele als wirkungsvolles Teambuilding-Format identifiziert. Studien belegen deren Potenzial zur Stärkung sozialer Verbundenheit – selbst dann, wenn diese Spiele in digitalen Kontexten stattfinden (Aggrawal & Boowuo 2023).

Auch im Bereich der *Arbeitsgestaltung* existieren zahlreiche Maßnahmen zur Verbesserung des Teamklimas, die – direkt oder indirekt – zur Stärkung der sozialen Verbundenheit beitragen können. Hierzu zählen zum Beispiel neuartige Raum- und Zeitkonzepte, Austausch- und Kommunikationsformate wie regelmäßige Teampräsenztage oder Online-Meetings, eine Erhöhung der Interaktions- und Kommunikationsdichte sowie kommunikationsverbesserndes Führungsverhalten (z. B. Becker 2016; Winkler et al. 2024).

Obgleich diese Maßnahmen grundsätzlich das Potenzial einer Förderung von Verbundenheit, Kooperation und Kreativität haben, zeigen sowohl die Erfahrungen der Fallbetriebe als auch die Beratungspraxis der befragten Beratungsorganisation unternehmensübergreifend, dass Teambuilding-Maßnahmen mit Event- oder Spielcharakter bei den Beschäftigten eher auf Widerstände stoßen und Arbeitsgestaltungsmaßnahmen eher den Ausbau von bereits vorhandener Verbundenheit fördern, nicht aber deren Aufbau zwischen noch distanzierten Gruppen. Es fehlen Möglichkeiten der differenzierten und passgenauen Empfehlung vorhandener Maßnahmen, die nicht nur zum Ausbau und Erhalt, sondern auch zur Herstellung arbeitsbezogener Verbundenheit beitragen. Die Fallstudienergebnisse weisen darauf hin, dass die Wirksamkeit von Maßnahmen zum Verbundenheitsaufbau zentral von einer Berücksichtigung des jeweiligen Arbeitskontextes sowie der Verfasstheit der bereits existenten Sozialbeziehungen innerhalb des Teams abhängt. Benötigt werden also diagnostische Analyseinstrumente zur Erfassung des Verbundenheitsniveaus innerhalb einer Belegschaft, auf deren Basis kontextsensible Maßnahmen erfolgen können.

5. Überlegungen zur Messbarkeit von Verbundenheit

Um arbeitsbezogene Verbundenheit adäquat zu erfassen, sollten verschiedene Ebenen berücksichtigt werden. So sollten etwa die formal-organisationale Struktur der Verbundenheit (etwa wie oft Mitarbeiter*innen zusammenarbeiten und in welchem Setting), die mediale bzw. technologische Struktur (etwa ob in Präsenz, online oder hybrid zusammengearbeitet wird und welche beziehungsrelevanten technischen Funktionalitäten der benutzte Kanal bietet), die Beziehungsqualität (etwa, wie vertrauensvoll das Verhältnis ist, wie formell, wie stark hierarchisch geprägt etc.) sowie der funktionale Fokus (dient das Verhältnis vor allem der Informationsvermittlung, der Zuarbeit, der gleichberechtigten Zusammenarbeit, der gemeinsamen Innovation etc.) unterschieden werden.

Zur Analyse der Verbundenheit und Teamresilienz existieren einige arbeitsbezogene Messinstrumente, die die Abfrage verschiedener Dimensionen des Sozialklimas ermöglichen, so z. B. das „Teamklima-Inventar“ (Brodbeck et al. 2000), die „Workplace Belongingness Scale“ (Jena & Pradhan 2018) und die „Erlangen Team Cohesion at Work Scale“ (Lieb et al. 2024) sowie die Resilience at Work Scale (R@W)

zur Messung individueller und Teamresilienz (McEwen & Boyd 2018). Eine vertiefte Auseinandersetzung mit dem konkreten Zusammenspiel der Gegenstände Resilienz und Verbundenheit stellt jedoch weiterhin ein Desiderat dar (Hartwig et al. 2020). Ein arbeitswissenschaftlich noch zu wenig beachtetes Analysepotenzial bieten Mapping-Methoden der Netzwerkanalyse, die es ermöglichen, Beziehungsgeflechte, Interaktionsdichten und deren strukturelle Bedeutungen innerhalb einer Organisation sichtbar und dadurch etwaige Problemstellen erkennbar zu machen. Pauksztat (2022) versteht die Verfasstheit des sozialen Netzwerks eines Teammitglieds, d. h. der Gesamtheit der arbeitsrelevanten, teaminternen und -externen sozialen Beziehungen, als Schlüsselressource zur Bildung von Teamresilienz, da die Struktur und Art dieser Beziehungen die Einstellungen, Überzeugungen und Motivationen der Teammitglieder prägen sowie den Zugang zu Ressourcen bedingen und so die adaptive Reaktion auf Ereignisse ermöglichen.

Eine weitere Möglichkeit der Verknüpfung der Ansätze zu (Team-)Resilienz und Verbundenheit könnte in der detaillierten Analyse der subjektiv empfundenen Beziehungsqualität im Kontext der objektiven Verbindungsstrukturen liegen, bspw. über das psychologische CIVIC-Modell. In diesem wird soziale Verbundenheit als Ergebnis von interpersoneller Nähe, gemeinsamer Identität und Bindung, wertvollen Beziehungen, Engagement sowie Fürsorge und Akzeptanz verstanden (Hare-Duke et al. 2021). Damit lassen sich bestehende Modelle zur resilienzorientierten Entwicklung der sozialen Beziehungen am Arbeitsplatz − bspw. aus dem Themenfeld der Teamgesundheit (z. B. Winkler et al. 2024; Moser & Häring 2023) − aber auch bestehende arbeits- und organisationspsychologische Konzeptionierungen von organisationaler und Teamresilienz (z. B. Hartwig et al. 2020; Raetze et al. 2021) ergänzen und schärfen.

6. Ausblick – Verbundenheit als Forschungsgegenstand

Die Betrachtung verschiedener Verbundenheitsformen in Unternehmen erfolgt aktuell meist wenig strukturiert und/oder nur ex negativo in der Analyse von psychosozialen Risiken durch ungünstige Sozialbeziehungen, z. B. im Rahmen einer psychischen Gefährdungsbeurteilung, die nur sehr begrenzt mit Fragen nach spezifischen Formen der Arbeitsorganisation und der verwendeten Kommunikations- und Kooperationsmittel verzahnt ist (GDA 2022). Für eine zukunftsfeste Arbeitswelt werden jedoch Fragen nach der Zusammenarbeit in sich weiter diversifizierenden Teams und nach der Stärkung des sozialen Miteinanders auch außerhalb des erodierenden Sozialraums Betrieb immer wichtiger. In der Arbeitswelt der Zukunft sind nicht nur immer mehr räumliche und zeitliche, sondern auch soziale und kulturelle Grenzen zu überwinden.

Aus diesen Gründen sind sowohl die differenzierte Konzeptualisierung arbeitsbezogener sozialer Verbundenheit in Beziehung zu flexiblen und hybriden Arbeitsformen und die Schärfung ihrer Funktion als Resilienzressource dringend geboten. Auch Erfolgsbedingungen ihrer Förderbarkeit durch Arbeitsgestaltungs- und Teambuilding-Maßnahmen sowie geeignete Erhebungsmethoden bedürfen noch konzeptioneller Integration und Schärfung. Hier existieren zwar Ansätze, aber keine systematischen Betrachtungen der angesprochenen Bereiche, die Erkenntnisse zu psychischer Gesundheit in der Arbeitswelt und Sozialbeziehungen in Unternehmen als wichtige Ressource in die Resilienzforschung integrieren.

Verbundenheitsförderliche Arbeitsgestaltung stellt sowohl für die Sicherung Guter Arbeit als auch unternehmerischer Resilienz ein hoch relevantes Forschungsfeld dar, dessen Ausarbeitung nicht zuletzt vor dem Hintergrund der Veränderungen der Arbeitswelt eine dringend anstehende Aufgabe ist.

7. Literatur

Aggrawal S, Boowuo H (2023) Enhancing teamwork through games: a systematic literature review. In: 2023 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE):1–9.

Becker F (2016) Teamarbeit, Teampsychologie, Teamentwicklung. So führen Sie Teams! Berlin Heidelberg: Springer.

Brodbeck FC, Anderson N, West MA (2000) Das Teamklima-Inventar: Handanweisung und Validierung der deutschsprachigen Version. Heidelberg: Hogrefe.

BAuA - Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2020) Teams und Belegschaften systematisch entwickeln: Drei Werkzeuge für Qualifizierung, gute Arbeitsgestaltung und Nachfolgeplanung im Mittelstand (2. Auflage). Berlin: Initiative Neue Qualität der Arbeit (INQA).

Çolak M, Çetin C (2021) Loneliness and cyberloafing in the time of COVID-19: a psychological perspective. International Journal of Contemporary Management 57:15–27.

D'Oliveira T, Persico L (2023) Workplace isolation, loneliness and wellbeing at work: the mediating role of task interdependence and supportive behaviours. Applied Ergonomics 106, Art.nr. 103894.

GDA-Arbeitsprogramm Psyche (2022) Berücksichtigung psychischer Belastung in der Gefährdungsbeurteilung – Empfehlungen zur Umsetzung in der betrieblichen Praxis (4., vollständig überarb. Aufl.). Bundesministerium für Arbeit und Soziales (Hrsg.) https://www.gda-portal.de/DE/Downloads/pdf/Psychische-Belastung-Gefaehrdungsbeurteilung-4-Auflage, (02.12.2024).

Hare-Duke L, Dening T, Oliveira D, Dewa R, Slade M (2021) Social connectedness in adults with mental disorders: ecological validation of a conceptual framework for novel complex interventions. Journal of Mental Health 30(3):333–340.

Hartwig A, Clarke S, Johnson S, Willis S (2020) Workplace team resilience: a systematic review and conceptual development. Organizational Psychology Review 10(3–4):169–200.

Hüning L, Böhm S, Fugli U (2018) Die Auswirkungen von Autonomie Kompetenz und sozialer Eingebundenheit auf die Gesundheit und Arbeitsfähigkeit von Mitarbeitern. In: Badura et al. (Hrsg.) Fehlzeiten Report 2018 Sinn erleben – Arbeit und Gesundheit. Berlin Springer, 269–279.

Jena L, Pradhan S (2018) Conceptualizing and validating workplace belongingness scale. Journal of Organizational Change Management 31(2):451–462.

Lieb M, Erim Y, Morawa E (2024) Development and validation of a questionnaire for measuring team cohesion: the Erlangen Team Cohesion at Work Scale (ETC). BMC Psychology 12(91):1–10.

Luhmann M (2019) Einsamkeit – nicht nur ein Problem des hohen Alters. In: Hax-Schoppenhorst T (Hrsg.) Das Einsamkeits-Buch Wie Gesundheitsberufe einsame Menschen verstehen unterstützen und integrieren können. Bern: Hogrefe, 68–75.

Moser M, Häring K (2023) Gesund bleiben in kranken Unternehmen Stressfaktoren erkennen und Resilienzkompetenz aufbauen. Wiesbaden: Springer.

Pauksztat B (2022) Social networks and resilience in work teams. In Lazega E, Snijders T, Wittek R (Eds.) A Research Agenda for Social Networks and Social Resilience. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 68–75.

Raetze S Duchek S Maynard MT Kirkman BL (2021) Resilience in organizations an integrative multilevel review and editorial introduction. Group & Organization Management 46(4):607–656.

Rodde N Kersten L (2024) Partnerauswahl und Teambuilding in der Projektallianz / Integrierten Projektabwicklung. Endbericht im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung BBSR im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung BBR.

Saukas K (2022) Deine Mitarbeiter sind einsam das schadet deinem Unternehmen https://www.betterup.com/de/blog/connection-crisis-impact-on-work (13.12.2024).

Singler A (2022) Zwölf Erfolgsfaktoren für mentale Teamgesundheit https://www.hrjournal.de/erfolgsfaktoren-fuer-mentale-teamgesundheit (13.12.2024).

Soucek R (2023) Resilienz im Arbeitskontext. ASU 58(7) https://www.asu-arbeitsmedizin.com/editorial/resilienz-im-arbeitsleben (18.07.2025).

Projektionslaser als Befähiger zur Adaptivität in der manuellen Montage von KMU

Falk GRUBER, Leif GOLDHAHN

Institut InnArbeit – Zentrum für Innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft
Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida

Kurzfassung: Schwankende Absätze, kleine Losgrößen und eine heterogene Belegschaft erschweren KMU stabile und effiziente Montageprozesse. Aufgrund geringer Stückzahlen bleibt die Montage oft manuell mit hohem Rüstaufwand. Ein Ansatz zur situationsbasierten Adaption von Montagebereichen und integrierter adaptiver Werkerassistenz ermöglicht die kurzfristige Berücksichtigung relevanter Einflüsse. Als technische Schnittstelle wurde ein Projektionslaser untersucht, der Formen und Informationen direkt auf den Arbeitsplatz projiziert und prozess- wie menschbezogene Unterstützung bietet. Der Beitrag zeigt die methodische Integration des Projektionslasers sowie zwei exemplarische Einsatzszenarien adaptiver Montage. Die projektionsbasierte Assistenz wirkt als Befähigertechnologie für adaptive Montagesysteme in KMU, insbesondere bei Rüsttätigkeiten und arbeitsintegriertem Lernen.

Schlüsselwörter: Montage, Adaption, Adaptivität, Werkerassistenz, Rüsten

1. Motivation/Einleitung

Der strukturelle Wandel im deutschen Industriesektor, der sich unter anderem in einer niedrigen Kapazitätsauslastung, steigenden Kostenstrukturen, volatilen Märkten und einem anhaltenden Fachkräftemangel manifestiert, stellt den Maschinen- und Anlagenbau vor zunehmende Herausforderungen (PwC 2025). Die gesamtwirtschaftlichen Rahmenbedingungen wirken unmittelbar auf betriebliche Wertschöpfungsprozesse und verstärken den Anpassungsdruck.

Vor diesem Hintergrund gewinnt die flexible Anpassung der manuellen Montage als zentrale Wertschöpfungsfunktion vieler KMU weiter an Bedeutung. Der Übergang von Anbieter- zu Käufermärkten, verbunden mit einer steigenden Individualisierbarkeit von Produkten und einer wachsenden Variantenvielfalt, führt zu einem grundlegenden Wandel der Montagearbeit. Die vormals dominierende Massenmontage entwickelt sich zunehmend hin zu variantenreicher Serienmontage bis hin zur industriellen Individualmontage (Hinrichsen & Bornewasser 2020).

Deshalb kommt der situationsbasierten Adaptionsfähigkeit von Montagesystemen zukünftig eine zentrale Bedeutung zu. Sie ermöglicht kurzfristige Reaktionen auf interne wie externe Einflussfaktoren durch situationsangemessene Anpassungen, Substitutionen und Transformationen des Arbeitssystems. Auf diese Weise können zeitliche wie monetäre Optimierungspotenziale erschlossen und die Leistungsfähigkeit variantenreicher Montagesysteme nachhaltig unterstützt werden (Niemann & Westkämper 2024).

2. Adaptivität als Ziel manueller Montagesysteme

2.1 Begriffsabgrenzung

Die Fähigkeit zur Anpassung von System und Unternehmen wird im arbeitswissenschaftlichen Kontext unterschiedlich definiert, weshalb eine kurze Einordnung folgt. Die Adaptionsfähigkeit (als Überbegriff) hängt mit der Wandlungsfähigkeit von Produktionsstrukturen eng zusammen (Neumann 2015). Wandlungsfähigkeit beschreibt Systeme die aus sich selbst heraus eine Prozess-, Struktur- und Verhaltensvariabilität besitzen, um sich reaktiv oder antizipativ auf System- oder Umweltveränderungen anzupassen (Westkämper et al. 2000).

Die Adaptionsfähigkeit von Systemen bedingt zusätzlich einen Grad an Modularität, Mobilität und Geschwindigkeit, um einen nachhaltigen Unternehmensbetrieb sicherzustellen (Wiendahl et al. 2005, Westkämper & Zahn 2009).

Die Adaptionsfähigkeit kann als Überbegriff für zwei Ausprägungen über die generelle Anpassungsfähigkeit interaktiver Systeme betrachtet werden, Adaptivität und Adaptierbarkeit (Oppermann 1994, Akyol et al. 2001, Fink et al. 1998).

Von Adaptivität bzw. einem adaptiven System wird gesprochen, wenn sich dieses selbst auf geänderte Einflüsse (Mensch, Umwelt, Aufgabe) anpasst.

In adaptiven Systemen wird die Anpassung durch das System selbst initiiert, dies wird durch Techniken gewährleistet welche ereignis-, messungs- oder modelbasiert auslösen (Burggräf et al. 2021, Inagaki 2003).

In adaptierbaren Systemen muss die Systemanpassung durch einen Initiator erfolgen. Dieser kann der Mitarbeitende am System selbst sein, ein Vorarbeiter oder Einrüster.

2.2 Rolle in der manuellen Montage

Aus der situationsbasierten Reaktion grenzen sich adaptionsfähige Systeme im Kontext der manuellen Montage vom herkömmlichen Rüsten ab. Das klassische Rüsten nach REFA umfasst die personenbezogene Vorbereitung auf die Arbeitsaufgabe sowie das technisch-organisatorische Einrichten, Umrüsten und Abrüsten des Arbeitssystems im Sinne eines geplanten und strukturierten Umbauprozesses (REFA 2019). Es dient damit der Herstellung eines definierten Ausgangszustands zur Ausführung des folgenden Auftrags und folgt einem vorher geplanten Umbau (Neumann 2015).

Die situationsbasierte Adaption unterscheidet sich hiervon grundlegend, da sie als kurzfristige Reaktion auf permanent wirkende interne und externe Einflussgrößen verstanden wird. Sie erfolgt durch situationsabhängige Anpassungen, Substitutionen oder Transformationen der sozio-technischen Produktionsstruktur mit dem Ziel, zeitliche und kostenbezogene Randbedingungen einzuhalten und den wirtschaftlichen Betrieb sicherzustellen (Neumann 2015). Im Gegensatz zur klassischen Rüstzeitoptimierung adressiert Adaption die Montage als integriertes Gesamtsystem und schließt auch strukturelle Veränderungen vom Arbeitssystem und Betriebsmitteln ein (Riffelmacher 2013). Entsprechend werden nicht alle Schritte des REFA-Rüstprozesses durchlaufen, sondern ausschließlich jener notwendigen Eingriffe, die eine fortlaufend wirtschaftliche Fertigung ermöglichen (Neumann 2015). Manuelle Montagesysteme müssen im KMU-Kontext nicht vollständig adaptiv sein, dagegen sprechen vor allem enorme kapazitative Aufwendungen seitens der Arbeitsvorbereitung und technischen Leitung des Unternehmens zur Pflege und

Aufrechterhaltung eines solchen Systems bei gleichzeitiger steigender Produktvariabilität und sinkender Losgrößen. Derartige anpassungsfähige Montagesysteme können nur wirtschaftlich eingeführt und betrieben werden, wenn diese um das jeweilig benötigte Maß adaptierbar bis hin zu adaptiv sind, wie es das Produktportfolio und der Prozess im KMU benötigt.

Adaptionsfähigkeit und deren beiden Ausprägungen sollten daher als Spektrum verstanden werden, welches wirtschaftlich und methodisch einzusetzen ist.

Die Einführung informatorischer adaptiver Assistenz für den Montage- und Rüstprozess in ein adaptierbares System kann den Anforderungen von KMU sowie der Mitarbeitenden gerecht werden (Gruber 2025, Warnhoff 2025).

3. Integration eines Projektionslasers in Arbeitssysteme

3.1 Soziotechnische Integration

Die Einführung eines Projektionslasers in ein manuelles Montagesystem zielt auf eine adaptive informatorische Assistenz des Mitarbeitenden während des gesamtheitlichen Prozesses ab. Projektionslaser erzeugen aus einer Laserdiode monochromatische Linienzüge, zur Darstellung von alphanumerischen Zeichen oder individuelle Konturen. Sie werden über dem Arbeitsbereich positioniert und strahlen in einem Öffnungswinkel von ca. 60° auf diesen. Die projektionsgestützte Assistenz ist dabei eine weitere Kompenente der modernen informatorischen Assistenz in der manuellen Montage, welche aufbauend auf Lösungen zur mobilen Datenassistenz (Goldhahn et al 2022) und AR-/VR-Techniken (Bock et al. 2024, Müller-Eppendorfer 2024) erforscht werden soll. Gerade bei häufigen Auftragswechseln und komplexer werdenden Produktkonfigurationen benötigen die Mitarbeitenden eine schnellere Orientierung und Störungen werden vermieden (Bendzioch et al. 2020). Mitarbeitenden sollen gezielt bzw. individuell gefördert werden. Über- oder Unterforderung können im äußeren dazu führen, dass der Mitarbeitenden entweder nicht mehr in der Lage ist, das Montagesystem selbstständig zu nutzen, oder vom System behindert werden, z. B. durch häufige Bestätigungsaufforderungen, störende oder zu viele Informationen. Beide Extreme führen tendenziell zu einer Ablehnung des Assistenzssystems, Produktivitätsverlusten und Störungen. Im Spektrum der Unterforderung berichten Mitarbeitende von einer subjektiven Entleerung ihrer Arbeit, da ihr eigenes Expertenwissen nicht mehr benötigt wird mit einhergehender Lethargie (Warnhoff 2025). Solche Faktoren führen langfristig zur Dequalifizierung und steigender Mitarbeiterunzufriedenheit. Ziel ist es die Mitarbeitenden entsprechend ihrer Expertise zu unterstützen und diese weiter auszubauen. Eine derartige Lernförderlichkeit kann erreicht werden, wenn sich das Assistenzssystem adaptiv auf den Menschen und das Produkt einstellen kann und bei steigender Erfahrung des Mitarbeitenden bezüglich bestimmter Prozesse oder Produkte den Informationsgehalt verringert.

3.2 Einsatzszenario: Steckdosenmontage

Im Labor Adaptive manuelle Montage an der Hochschule Mittweida werden an drei unterschiedlich ausgerüsteten manuellen Arbeitsplatzsystemen verschiedene Varianten von Steckdosenleisten montiert (Abb. 1). Die Unterstützung des Mitarbeitenden während des Rüstprozesses kann hierbei je nach Erfahrungsgrad auf

zwei Schwerpunkte ausgerichtet werden. Erstens umfasst sie das Positionieren der Greifschalen und Behälter innerhalb der ergonomischen Greifflächen in der Tischebene nach Windel (2019), wobei Bauteile mit häufigerer Verwendung priorisiert werden. Zweitens können gezielte Hinweise bereitgestellt werden, beispielsweise zur Drehmomenteinstellung des Schraubers oder zum Bitwechsel. Das Montagesystem wurde deshalb flexibel umbaubar projektiert, multimediale Anleitungen erstellt und Montagevorrichtungen gefertigt. Der Umbau der Arbeitsplätze wurde dann modular geplant und weitgehend verkürzt, z. B. durch kommissionierte Bereitstellwägen mit auftragsbezogenen Bauteilen, Werkzeugen und Anleitungen. Während der Einricht- und Montagevorgänge kann der Projektionslaser z. B. ein Pick-by-Light- sowie ein Put-to-Light-System imitieren und durch die Anzeige der benötigten Stückzahl auch komplexere Kommissionierfunktionen in die manuelle Montage applizieren helfen.

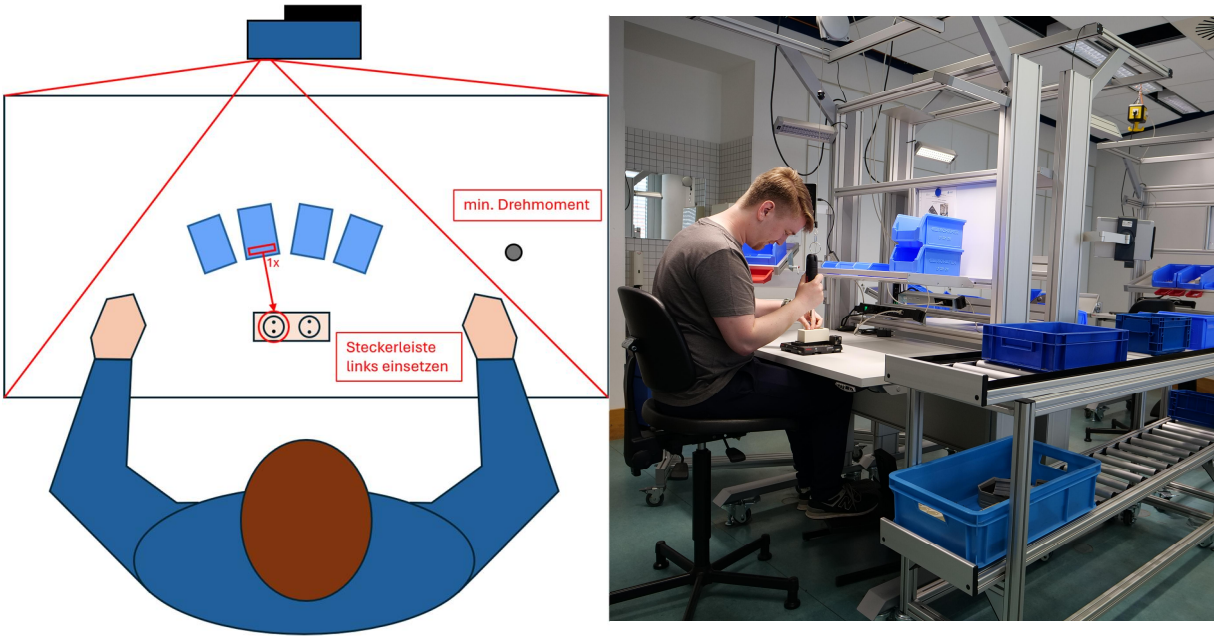


***Abbildung 1**: Schematische Darstellung eines manuellen Arbeitsplatzes mit projektionsgestützter Assistenz (li.) vs. reales Montagesystem (re.).*

3.3 Einsatzszenario: Getriebemontage

Die Vielfalt und Komplexität der Montagetätigkeiten bei Sondergetrieben fordern die Anpassungsfähigkeit von Mensch und Arbeitsplatz heraus. Als Referenzprodukt steht im neu aufzubauenden Laborbereich Werkbankmontage ein typisches Getriebe mit einer Gesamtmasse von 45 kg und Außenmaßen von 400x300 mm zur Verfügung (Abb. 2). Hierfür ist ein modular umbaubarer Steh-Arbeitsplatz mit Höhenverstellung zu projektieren. Die projektionsgestützte Unterstützung muss hierbei über einen größeren Bereich erfolgen. Infolge der gesteigerten Teileanzahl ist ein Pick-by-Light folgerichtig zu integrieren. Put-to-Light kommt durch die Kleinteiligkeit und Komplexität an seine Grenzen, da auch nicht alle Montagepunkte am Objekt direkt von oben anleuchtbar sind. Gezielte Informationen zu montagetechnischen Besonderheiten sind vor allem für unerfahrene Mitarbeitende notwendig: bspw. zu Laufgeräuschen, thermisches Fügen von Passungen oder speziellen Fügetechniken wie Kleben wünschenswert. Diese werden üblicherweise erst durch Erfahrungen erworben oder mittels gezieltem Wissensmanagement weitergegeben. Zudem erfordern konstruktive Änderungen der Sondergetriebe und qualifizierte Rückmeldungen aus der Montage

eine engere Kommunikation zwischen Konstruktion und Montage. Die Verknüpfung von Bauteilinformationen, Änderungen und Montageschritt wäre für die Montierenden sehr wertvoll.

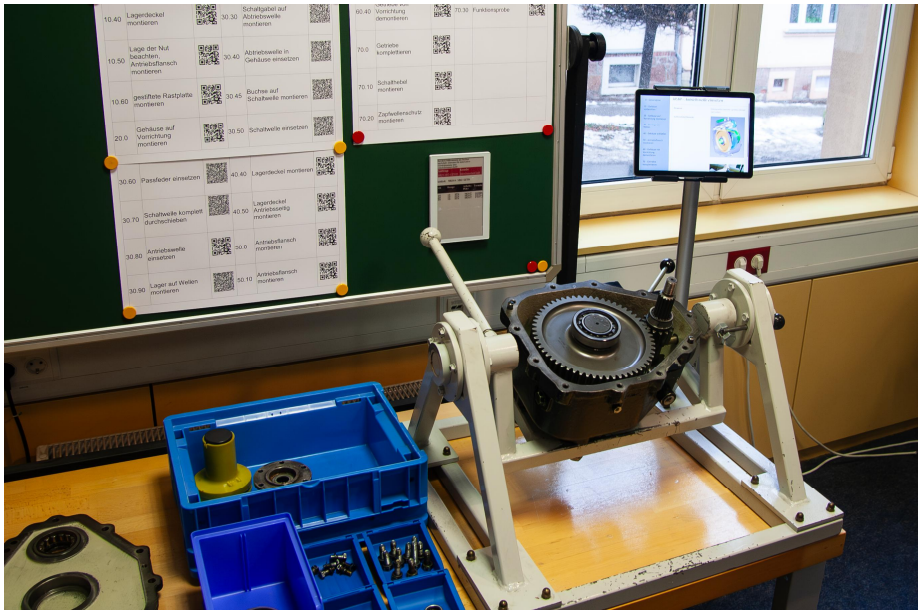


***Abbildung 2**: Sondergetriebemontage – multimedial und mit Electronic Shelf Label (ESL) unterstützt.*

4. Ausblick/Fazit

Projektionslaser ermöglichen in der variantenreichen Montage einerseits eine Anlerntechnik für neue Mitarbeiter bei neuen Produktvarianten und ein gezieltes Hinweisen auf Besonderheiten und Änderungen direkt am Montageobjekt in einem dynamischen Fertigungsumfeld. Dabei ist eine individuelle oder erfahrungsgeleitete Anpassung der Inhalte auf die Mitarbeitenden unabdingbar, um Unter- und Überforderungsszenarien zu vermeiden und ein förderndes, motivierendes Arbeitssystem zu erreichen.

Die Entwicklung in diesem Projekt zielt im Weiteren auf die Entwicklung einer Einführungs- und Betriebsmethodik für adaptive Montagesysteme mit Projektionslaser als Befähigertechnologie. Die Methodik soll dabei technologieoffen sein. In einer Laborstudie werden objektive und subjektive Effekte des angepassten Arbeitssystems untersucht und für eine praktische Erprobung abgeleitet. Die Methodik kann nach der Laborstudie und der praktischen Erprobung jeweils iterativ angepasst und erweitert werden.

5. Literatur

Akyol S, Libuda L, Kraiss KF (2001) Multimodale Benutzung adaptiver Kfz-Bordsysteme. In: Jürgensohn T, Timpe KP (Hrsg.) Kraftfahrzeugführung. Berlin: Springer-Verlag, 137–154.

Bendzioch S, Hinrichsen S, Bornewasser M (2020) Produktivität der Montagearbeit. In: Bornewasser M, Hinrichsen S (Hrsg.) Informatorische Assistenz in der variantenreichen Montage - Theorie und Praxis. Berlin: Springer-Verlag, 113–134.

Bock D, Müller-Eppendorfer K; Goldhahn L (2024) Moderne Assistenz für Montage- und Bereitstellprozesse. In: Tolkmitt, V; Mahn, U (Hrsg.) 24. Nachwuchswissenschaftler* innenkonferenz. Mittweida: Hochschule Mittweida, 292–297.

Burggräf P, Dannapfel M, Adlon T, Kasalo M (2021) Adaptivity and adaptability as design parameters of cognitive assistance fpr enabling agile assembly systems. In: Procedia CIRP 97:224–229.
Fink J, Kobsa A, Nill A (1998) Adaptable and adaptive information provision for all user, including disabled and elderly people. In: New Review of Hypermedia and Multimedia 4. London: Taylor & Francis, 163–188.
Goldhahn L, Müller-Eppendorfer K, Bock D (2022) Dezentrale Assistenztechnologien für manuelle Montage und Bereitstellungslogistik. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.) Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten. Sankt Augustin: GfA Press, 1–6.
Gruber F, Goldhahn L (2025) Anforderungen an adaptive Montagesysteme in KMU. In: Tagungsband 25. Nachwuchswissenschaftler*innenkonferenz. Merseburg: Hochschule Merseburg (Hrsg.), 394–398.
Hinrichsen S, Bornewasser M (2020) Veränderung der Gestaltungsparadigmen industrieller Montagearbeit. In: Bornewasser M, Hinrichsen S (Hrsg.) Informatorische Assistenz in der variantenreichen Montage - Theorie und Praxis. Berlin: Springer-Verlag, 1-20.
Inagaki T (2003) Adaptive automation: sharing and trading of control. In: Hollnagel, E (Hrsg.), Handbook of Cognitive Task Design. CRC Press, 147–169.
Müller-Eppendorfer K (2024) Systematik zur Planung menschengerechter Materialbereitstellung mit Hilfe von Virtual Reality. Dissertation. Hoppe, A (Hrsg.) Forschungsberichte Arbeitswissenschaft/Arbeitspsychologie. Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Düren: Shaker.
Neumann M (2015) Methode für eine situationsbasierte Adaption und Absicherung der Produktionsfähigkeit in der Serienmontage. In: Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung Band 40. Stuttgart: Fraunhofer-Verlag, 9–13.
Niemann J, Westkämper E (2024) Digitale Produktion – Herausforderung und Nutzen. In: Riedel O et al. (Hrsg.) Handbuch Unternehmensorganisation. Heidelberg: Springer-Verlag, 1–16.
Oppermann R (1994) Introduction. In: Adaptive user support: Ergonomic design of manually and automatically adaptable software. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1–13.
PwC, PricewaterhouseCoopers GmbH (2025) Maschinenbau-Barometer Q3 2025. Accessed Dez 8, 2025. https://www.pwc.de/de/industrielle-produktion/pwc-maschinenbau-barometer-q3-2025.pdf.
REFA-Institut (2019) REFA-Grundausbildung 4.0 - Teil 1: Analyse und Gestaltung von Prozessen. Darmstadt: REFA Bundesverband e.V. (Hrsg.), 288.
Riffelmacher P (2013) Konzeption einer Lernfabrik für die variantenreiche Montage. In: Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung Band 15. Stuttgart: Fraunhofer-Verlag, 138.
Warnhoff K (2025) Arbeitsintegriertes Lernen in der Industrie 4.0 - Eine qualitative Analyse verschiedener Assistenzsysteme in der Montage. In: Industry 4.0 Science 41:20–29.
Westkämper E, Zahn E, Balve P, Tilebein M (2000) Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen – Ein Bezugsrahmen für die Unternehmensentwicklung im turbolenten Umfeld. In: wt Werkstatttechnik online 90:22–26.
Westkämper E, Zahn E (Hrsg.) (2009) Wandlungsfähige Produktionsunternehmen - Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin: Springer-Verlag.
Wiendahl HP, Nofen D, Klußmann JH, Breitenbach F (2005) Planung modularer Fabriken - Vorgehen und Beispiele aus der Praxis. München: Carl Hanser Verlag.
Windel A (2019) Kleine Ergonomische Datensammlung. Köln: TÜV Rheinland, 35.

Danksagung: Die Autoren danken der SAB für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des ESF-Plus.

Kofinanziert von der Europäischen Union

Diese Maßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf der Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes.

Von der Prozessanalyse zur Gestaltung menschzentrierter Assistenz – ein workshopbasierter Ansatz in der Leiterplattenmontage

Katharina MÜLLER-EPPENDORFER[1]; Sarah GRUß[1]; Thomas PFAFF[2], Christina PIETSCHMANN[1]

[1] *Institut InnArbeit – Zentrum für Innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft, Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida*
[2] *Sächsisches Institut für Computational Intelligence und Machine Learning (SICIM), Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida*

Kurzfassung: Im PAL-Projekt wurde die Leiterplattenmontage ergonomisch optimiert, indem digitale Assistenzsysteme und KI-Technologien integriert wurden. Grundlage bildeten eine detaillierte Analyse der Arbeitsprozesse sowie Interviews mit Mitarbeitenden. Darauf folgten ein Workshop zur Innovationssensibilisierung und Beobachtungsstudien zur Erfassung typischer Bewegungsmuster. Mithilfe von VR-Technologien entstanden neue Arbeitsplatzkonzepte, die anschließend umgesetzt wurden. Die Mensch-System-Interaktion wurde partizipativ gestaltet, wobei Methoden wie Antibrainstorming und LEGO® Serious Play® zum Einsatz kamen. Labortests und Tests in realen Unternehmensumgebungen sollen künftig die Praxistauglichkeit und Weiterentwicklung sicherstellen.

Schlüsselwörter: Assistenzsystem, Ergonomie, Arbeitsgestaltung, Partizipation, Datenschutz, Prävention

1. Einleitung und arbeitswissenschaftlicher Gestaltungsrahmen

Trotz fortschreitender Automatisierung bleibt die manuelle Montage in variantenreichen und kleinseriengeprägten Produktionsumgebungen unverzichtbar. Diese Arbeitsplätze sind oft durch statische Körperhaltungen, repetitive Bewegungen und geringe Gestaltungsspielräume geprägt, was ein erhöhtes Risiko für Muskel-Skelett-Erkrankungen mit sich bringt (Md. Noh et al., 2022).

Ziel der arbeitswissenschaftlichen Gestaltung ist es, Arbeitssysteme ausführbar, schädigungslos und beeinträchtigungsfrei zu gestalten und gleichzeitig die langfristige Leistungsfähigkeit sowie die Gesundheit der Beschäftigten zu gewährleisten. Digitale Assistenzsysteme werden hierbei als Chance gesehen ergonomische Belastungen frühzeitig sichtbar zu machen und präventiv zu adressieren (baua, 2025). Gleichzeitig besteht die Gefahr, dass sie als Kontrollinstrument wahrgenommen werden, was ihre Akzeptanz mindern kann (Friedrich et al., 2024).

Das Schwerpunktprojekt 1 im PAL-Verbund entwickelt daher ein Assistenzsystem, das konsequent arbeitswissenschaftliche Prinzipien berücksichtigt. (Müller-Eppendorfer et al., 2023; Pietschmann et al., 2023) Es versteht Ergonomie nicht nur als physische Entlastung, sondern als Teil eines ganzheitlichen Arbeitssystems, das auch psychische Aspekte wie Transparenz, Autonomie und Kontrollierbarkeit einbezieht. Das System verzichtet bewusst auf leistungsbezogene Bewertungen oder normative Vorgaben „richtiger“ Arbeitsweisen. Stattdessen sollen ergonomisch ungünstige Haltungen sichtbar gemacht werden, um Mitarbeitende in die Lage zu

versetzen, auf Grundlage der grafischen Darstellung ergonomisch ungünstiger Haltungen informationsbasierte Entscheidungen zu treffen. So können sie ihre eigene Haltung reflektieren und bei Bedarf Arbeitsweise oder Equipment individuell anpassen, um eine bessere Ergonomie zu erreichen, ohne ihre Handlungsspielräume einzuschränken.

Ein zentrales Gestaltungsprinzip ist die Transparenz der Systemlogik: Rückmeldungen müssen nachvollziehbar sein und auf bekannten arbeitswissenschaftlichen Bewertungsansätzen beruhen. Nur so können sie als unterstützend wahrgenommen werden und langfristig zur Gesundheitsförderung beitragen. Dieses Verständnis prägt sowohl die technische Ausgestaltung des Systems als auch die begleitenden partizipativen Maßnahmen.

2. Systemkonzept und Datenschutz als Bestandteil menschengerechter Arbeitsgestaltung

Kern des Projekts ist ein kamerabasiertes Assistenzsystem zur Analyse von Bewegungsabläufen in der manuellen Montage. Entscheidend ist nicht nur die technische Genauigkeit, sondern die datenschutzgerechte Erhebung und Verarbeitung. Die Kameras erfassen Körperhaltungen, ohne personenbezogene Bilddaten zu speichern. Stattdessen werden die Daten lokal in ein abstrahiertes Modell überführt, auf dessen Basis die ergonomische Bewertung erfolgt. Eine Identifikation einzelner Personen ist ausgeschlossen. (Müller-Eppendorfer et al., 2025)

Diese Architektur folgt dem Prinzip der Datenminimierung und reduziert psychische Belastungen, die oft mit Überwachung assoziiert werden. Datenschutz wird als zentrales Gestaltungsmerkmal verstanden: lokale Verarbeitung, kein Speichern und transparente Kommunikation erhöhen die Kontrollierbarkeit für die Nutzenden. So bleibt die Selbstbestimmung erhalten und zusätzliche Stressoren werden vermieden.

Das System gibt situativ und zurückhaltend Feedback, um für ergonomische Risiken zu sensibilisieren, ohne den Arbeitsprozess zu stören. Damit orientiert es sich an arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen für unterstützende Informationssysteme.

3. Referenzablauf, Bewegungsaufzeichnung und simulations-gestützte Validierung

Für eine fundierte ergonomische Analyse ist die realitätsnahe Abbildung der Arbeitstätigkeit entscheidend. Im Projekt wurde ein mehrstufiger Ansatz gewählt: qualitative Arbeitsplatzanalysen, ein standardisierter Referenzablauf und objektive Bewegungsaufzeichnungen.

Zunächst wurden reale Montagearbeitsplätze bei dem Partnerunternehmen IMM electronics GmbH, Mittweida, untersucht. Beobachtungen und Interviews identifizierten typische Abläufe und Belastungsschwerpunkte. Darauf basierend entstand ein Referenzablauf, der den Montageprozess reproduzierbar darstellt. Zur Vergleichbarkeit wurden im Laborumfeld Klemmbausteine statt elektrischer Bauteile genutzt und Arbeitsschritte farbcodiert.

Die Bewegungsdaten wurden mit dem entwickelten kamerabasierten System sowie einem weiteren markerbasierten Motion-Capture-System erfasst, um die Genauigkeit und Robustheit des eigen entwickelten Systems zu validieren. Ergänzend erfolgte eine simulationsgestützte Analyse, etwa zur Optimierung der Kamerapositionen. Die

Zuordnung der Arbeitsschritte zu den Belastungsschwerpunkten ermöglicht eine differenzierte ergonomische Bewertung.

Im Rahmen einer Risiko-Folgenabschätzung wurde das Assistenzsystem umfassend geprüft. Berücksichtigt wurden Datenschutz, Selbstbestimmung und psychische Belastungen sowie technische und organisatorische Risiken. Maßnahmen wie lokale Datenverarbeitung, Zugriffskontrollen, transparente Kommunikation und Schulungen sichern die praktische Umsetzung. Das System soll als unterstützendes Element in ein ganzheitliches Ergonomiekonzept integriert werden, ohne die Verantwortung für Arbeitsschutz auf Beschäftigte zu verlagern.

4. Partizipativer Entwicklungsprozess und Datenschutzfolge- abschätzung

Die aktive Beteiligung der Mitarbeitenden ist zentral für Akzeptanz und Wirksamkeit digitaler Assistenzsysteme – besonders bei kamerabasierten Lösungen, die oft mit Überwachung assoziiert werden. Partizipation bedeutet nicht formale Zustimmung, sondern die systematische Einbindung von Erfahrungswissen und die frühzeitige Identifikation von Risiken, um Fehlentwicklungen und psychische Belastungen zu vermeiden.

Im Projekt wurde dazu ein Workshop mit der Methode **LEGO® Serious Play®** durchgeführt. Sie ermöglicht einen niedrigschwelligen Zugang zu komplexen Themen wie Datenschutz und Vertrauen. Die Teilnehmenden entwickelten Modelle „guter“ und „kritischer“ Systeme und diskutierten Aspekte wie Datenerhebung, Transparenz und Nutzung. Die Ergebnisse zeigten: Datenschutz wird eng mit Kontrolle, Vertrauen und Fairness verknüpft (vgl. Abbildung 1).

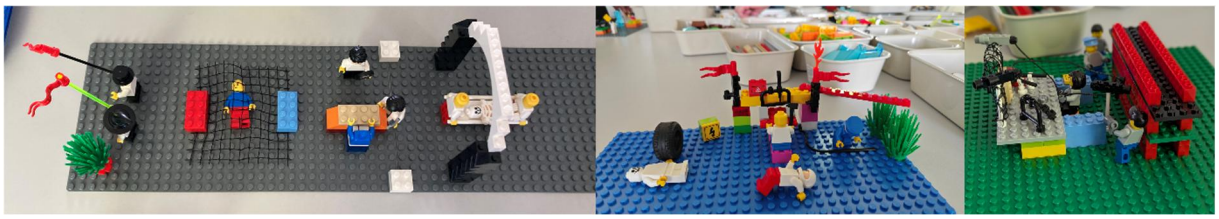


Abbildung 1: *Drei im LEGO® Serious Play® Workshop „Datenschutzfolgeabschätzung“ entstandene Modelle.*

Die Erkenntnisse flossen in die **Datenschutzfolgeabschätzung (DSFA)** ein, die als arbeitswissenschaftliches Gestaltungsinstrument genutzt wurde. Neben technischen Maßnahmen wurden psychologische Faktoren wie Verständlichkeit und Einflussmöglichkeiten berücksichtigt. So konnten Risiken frühzeitig adressiert, Transparenz geschaffen und Vertrauen aufgebaut werden – ein wesentlicher Beitrag zur präventiven Arbeitsgestaltung.

5. Systementwicklung und Labortest

Neben der aktiven Beteiligung der Beschäftigten während der Systemeinführung ist auch eine geeignete Auswahl für die Algorithmen des Systems zur gesamtheitlichen Akzeptanz entscheidend. Gerade bei ergonomischen Betrachtungen sollten die Systembewertung der Körperhaltung des Mitarbeitenden transparent sein.

Aktuelle Ergonomiebewertungen werden zumeist noch manuell durchgeführt und sind zeit- und ressourcenintensiv (Liebchen, 2025). Aufgrund aktueller Trends und Entwicklungen liegt es nahe tiefe neuronale Netze (DNN) für die direkte kamerabasierte Bewertungsklassifizierung nach RULA zu verwenden. Durch ein derartiges End-to-End-Modell entstehen jedoch systematische Nachteile. Viele gängige Klassifikationsmodelle auf Basis neuronaler Netze sind nur eingeschränkt erklärbar und erfordern umfangreiche, annotierte Trainingsdatensätze (Rudin, 2019; Villmann et al., 2016). Die zunehmende Komplexität neuronaler Netze erschwert es, die resultierenden Klassifikationen in konkrete, teilkörperspezifische ergonomische Empfehlungen zu überführen, da diese nicht auf ergonomisch interpretierbaren Merkmalen beruhen (Rudin, 2019; Villmann et al., 2016). Es lassen sich somit auch keine Empfehlungen zur ergonomischen Optimierung ableiten, obwohl das RULA-Regelwerk mittels einzelner Bewertungsparameter genau dies zulässt (Hoehne-Hückstädt et al., 2007). Die manuelle Anwendung der RULA-Methode, insbesondere bei perspektivischen Einzelbildern, unterliegt weiterhin einer gewissen Beobachterabhängigkeit. Diese kann sich in den zugrunde liegenden Trainingsdaten widerspiegeln und zu systematischen Verzerrungen (Bias), auch in der Bewertung, führen (Kaden et al., 2025).

Folglich wurde kein End-to-End-Modell gewählt, sondern der Gesamtablauf in Teilschritte aufgeteilt, wobei jeder für sich nachvollziehbar und evaluierbar ist:

- Erfassung der Person durch handelsübliche Webcams
- Gelenkpunkteermittlung eines 2D-Skeletts pro Webcam mittels Modell-Inferenz
- Überführung zu einem 3D-Skelett
- Berechnung der einzelnen RULA-Teilbewertungen und Gesamtbewertung

Die Nutzung mehrerer Kameraperspektiven für ein 3D-Skelett reduziert perspektivische Verzerrungen und erhöht die Robustheit der Winkelberechnung (Hartley & Zisserman 2004). Mit diesem Ansatz ist es möglich in Echtzeit die RULA-Bewertungen transparent für den Benutzenden darzustellen. Das neuronale Netz (real time pose estimation model) übernimmt ausschließlich die Funktion zur Extraktion von Gelenkpositionen (feature extraction), nicht jedoch die ergonomische Bewertung selbst. Alle folgenden Berechnungen basieren auf Grundlage dieser Gelenkpositionsextraktion und sind somit auch für nachgelagerte Prozesse nutzbar. (vgl. Abbildung 2)

Im Gegensatz zu direkt aus Bilddaten lernenden Klassifikationsmodellen ist dieser Ansatz ressourceneffizienter, da besonders im Hinblick auf Anpassung an neue Bewertungsregeln, keine erneuten Trainingsprozesse erforderlich sind und Änderungen ausschließlich auf der Regel- und Berechnungsebene erfolgen.

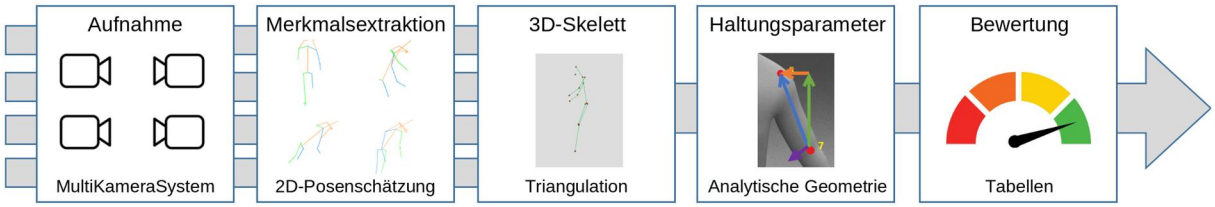


***Abbildung 2**: Schematische Darstellung des Ablaufs der ergonomischen Bewertung.*

Die modulare Systemarchitektur ermöglicht darüber hinaus eine entsprechende Ressourcenskalierung, sodass die Hardwareauswahl in Abhängigkeit von den jeweiligen Echtzeitanforderungen erfolgen kann. Dies stellt insbesondere für den Einsatz in kleinen und mittleren Unternehmen einen relevanten Aspekt gegenüber anderen technisch aufwendigeren Systemen dar (Liebchen, 2025). Als Feedbacksystem steht derzeit ein webbasiertes User Interface zur Verfügung. Aufgrund der realisierten Schnittstelle (API) sind jedoch unternehmensspezifische Erweiterungen möglich. Zukünftige Tests untersuchen neben der Validierung der Berechnungen insbesondere die Wiederholgenauigkeit sowie die Robustheit gegenüber Perspektivwechseln. Ziel ist es, belastungsrelevante Arbeitssituationen bedarfsgerecht und ressourceneffizient zu erfassen und abschließend zu bewerten.

6. Diskussion und Ausblick

Der Beitrag zeigt, dass digitale Assistenzsysteme zur ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung nur dann einen nachhaltigen arbeitswissenschaftlichen Mehrwert entfalten können, wenn sie konsequent in einen menschengerechten Gestaltungsrahmen eingebettet sind. Technische Leistungsfähigkeit allein ist hierfür nicht ausreichend. Entscheidend sind Transparenz der Systemlogik, die Wahrung von Handlungsspielräumen sowie eine frühzeitige und ernsthafte Beteiligung der Beschäftigten.

Der vorgestellte Ansatz verdeutlicht, dass Assistenzsysteme nicht als Instrumente der Leistungs- oder Verhaltenssteuerung konzipiert werden dürfen, sondern als unterstützende Werkzeuge präventiver Arbeitsgestaltung. Durch die erklärbare, regelbasierte ergonomische Bewertung wird eine Nachvollziehbarkeit geschaffen, die aus arbeitswissenschaftlicher Sicht zentral für Akzeptanz und Vertrauen ist. Gleichzeitig zeigt der partizipative Entwicklungsprozess, dass Datenschutz nicht ausschließlich als rechtliche Anforderung, sondern als gestaltbares Element des Arbeitssystems verstanden werden muss.

Die methodische Kombination aus realer Arbeitsplatzanalyse, standardisiertem Referenzablauf, objektiver Bewegungsaufzeichnung und simulationsgestützter Auswertung trägt dazu bei, die Validität der ergonomischen Bewertungen zu erhöhen und deren Übertragbarkeit in den betrieblichen Alltag abzusichern. Zugleich ermöglicht dieser Ansatz, Systemparameter kontrolliert zu untersuchen, ohne den Bezug zur realen Arbeit zu verlieren.

Im weiteren Projektverlauf wird das Assistenzsystem betrieblich erprobt. Untersucht werden die Wahrnehmung und Nutzung der Rückmeldungen im Arbeitsalltag sowie deren langfristige Auswirkungen auf ergonomisches Verhalten, subjektive Belastung und Akzeptanz. Ergänzend erfolgen Langzeitanalysen zur Bewertung des präventiven Nutzens für eine nachhaltige Arbeitsgestaltung. Die Analyse stark dynamischer Bewegungsabläufe ist aktuell limitiert, da die Online-Bewertungsfrequenz auf

Ressourceneffizienz, Echtzeitfähigkeit und KMU-taugliche Hardwareanforderungen ausgelegt ist.

Insgesamt leistet das Projekt einen Beitrag zur arbeitswissenschaftlichen Diskussion um digitale Assistenzsysteme, indem es zeigt, wie technologische Innovation mit menschengerechter, partizipativer Arbeitsgestaltung verbunden werden kann.

7. Literatur

baua (2025) Digitale Ergonomie und Designwerkzeuge. Verfügbar 03.12.2025. https://www.baua.de/EN/Topics/Work-design/Digitalisation-AI/Digital-ergonomics.

Friedrich P, Schmid S, Fuchs, D (2024) Acceptance of assistive fall prevention technologies: an online survey. Procedia Computer Science, 246, 4582–4591. https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.322.

Hartley R, Zisserman A (2004) Multiple View Geometry in Computer Vision, 2nd edition. Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-54051-3.

Hoehne-Hückstädt U, Herda C, Ellegast R P, Hermanns I, Hamburger R, Ditchen D (2007) Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremität und berufliche Tätigkeit - Entwicklung eines Systems zur Erfassung und arbeitswissenschaftlichen Bewertung von komplexen Bewegungen der oberen Extremität bei beruflichen Tätigkeiten. In: BGIA-Report 2/2007, Sankt Augustin: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), 77-82. ISBN: 978-3-88383-722-9.

Kaden M, Engelsberger A, Schubert R, Lövdal S S, van den Brandhof, E L, Biehl M, Villmann T (2025) Mitigating the Bias in Data for Fairness Using an Advanced Generalized Learning Vector Quantization Approach -- FA(IR)^2MA-GLVQ. In: ESANN 2025 proceedings, European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning, 419-424. https://doi.org/10.14428/esann/2025.ES2025-65.

Liebchen J, Vur B, Freitag M (2025) Eine kamerabasierte Methode zur Ergonomieanalyse. In: Industry 4.0 Science 41 Nr. 5, 120-126. https://doi.org/10.30844/I4SD.25.5.120.

Md. Noh, M S, Che Ghani S A, Muhammad Sidik M H (2022) Investigation of Ergonomics Risk Assessment Among Manual Assembly Manufacturing Workers in Medical Device Industry. In M H A Hassan, Z Ahmad Manap, M Z Baharom, N H Johari, U K Jamaludin, M H Jalil, I Mat Sahat, M N Omar (Hrsg.), Lecture Notes in Mechanical Engineering. Human-Centered Technology for a Better Tomorrow, Bd. 42, 695–708. Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4115-2_56.

Müller-Eppendorfer K, Gruß S, Meusinger K, Engelsberger A, Goldhahn L (2025) Beteiligungsorientierte Entwicklung datenbasierter Assistenz für ergonomische Montage. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): Arbeit 5.0: Menschzentrierte Innovationen für die Zukunft der Arbeit. Bericht zum 71. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 25.- 27. März 2025. Sankt Augustin: GfA Press, 1117 – 1122. ISBN 978-3-936804-36-2.

Müller-Eppendorfer K, Pietschmann C, Engelberger A, Davies T, Goldhahn L (2023) Entwicklungsansatz eines datenbasierten Assistenzsystems zur dynamischen Ergonomiebewertung. In: Entwicklung hybrider Arbeitssysteme. Scientific Reports. Hochschule Mittweida, ISSN 1437-7624, 2023, Nr. 1, 6 – 10, doi.org/10.48446/opus-14350.

Pietschmann C, Müller-Eppendorfer K, Bock D, Goldhahn L (2023) Transformation hybrider Arbeitssysteme durch Entwicklung datenbasierter Assistenz. In: Hoppe, A. (Hrsg.). Tradition oder Innovation. Wieviel GESTERN braucht das MORGEN? Band 6 aus der Reihe: Arbeit und Technik im Wandel. Düren: Shaker, 211 – 222.

Rudin C (2019) Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. In: Nature Machine Intelligence 1, 206–215, https://doi.org/10.1038/s42256-019-0048-x.

Villmann T, Bohnsack A, Kaden M (2016) Can Learning Vector Quantization be an Alternative to SVM and Deep Learning? - Recent Trends and Advanced Variants of Learning Vector Quantization for Classification Learning. In: Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing Research, SAN University, Vol. 7 Issue 1, 65-81, https://doi.org/10.1515/jaiscr-2017-0005.

Danksagung: Die Autoren danken dem Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt für die finanzielle Unterstützung sowie dem Projektträger Karlsruhe (PTKA) für die Betreuung des Forschungsprojektes „PerspektiveArbeit Lausitz (PAL)“, Förderkennzeichen 02L19C300.

Vertriebsstärkung durch interne Reorganisation in Kleinst- und Kleinunternehmen

Michael GÜHNE, Ulrike PIETRZYK

Arbeitsgruppe Wissen-Denken-Handeln, Fakultät Psychologie, TU Dresden
Chemnitzer Straße 46, D-01187 Dresden

Kurzfassung: Vorgehensweisen zur Vertriebsstärkung durch interne Reorganisation in Kleinst- und Kleinunternehmen sind in der Literatur nicht prominent vertreten. Im Beitrag wird die Entwicklung einer Vorgehensweise zur Vertriebsstärkung durch interne Reorganisation dargestellt und die Identifikation von Barrieren in einer Fallstudie mit Aktionsforschungsansatz erläutert. Die Datenauswertung führte zur Identifikation von Barrieren auf den Ebenen Mensch, Technik, Organisation. Die Ergebnisse des Beitrags erweitern die Literatur zum Change-, Sales- und Customer-Relationship-Management.

Schlüsselwörter: Kleinst- und Kleinunternehmen, Change-Management, Sales-Management, Partizipation, Fallstudie

1. Problemlage

Kleinst- und Kleinunternehmen, welche Kleinserien oder Einzelstücke fertigen und keine oder wenige zeitstabile Kunden haben, benötigen permanente und effiziente Vertriebsaktivitäten für den Fortbestand des Unternehmens, da fortlaufend neue Kunden und Aufträge akquiriert werden müssen, um die Fertigungskapazitäten dauerhaft effizient auszulasten.

In Unternehmen mit wenigen Beschäftigten wird die Vertriebsfunktion häufig in Personalunion durch die Geschäftsführung abgedeckt. Veränderungen des Marktumfeldes oder ein Wachstum des Unternehmens führen oft dazu, dass die Abdeckung der Vertriebsfunktion durch Personen der Geschäftsführung nicht mehr vollumfänglich möglich ist. Diese Situation erfordert eine Neuorganisation des Vertriebs und stellt Unternehmen oft vor Herausforderungen: Die Einstellung von Personen mit Vertriebswissen verursacht Kosten, der benötigte Stellenumfang ist aufgrund fehlender Erfahrungswerte für Unternehmen schwer abschätzbar, die Übergabe einer neuen Funktion an eine neu eingestellte Person ist mit Unsicherheit betreffs Expertise und Passung zu den Aufgaben verbunden und die existierende, gewachsene Unternehmenskultur wird durch die oftmals weniger auf das Produkt ausgerichtete Sicht der neu eingestellten Person herausgefordert, was umfassende Anpassungsprozesse nach sich ziehen kann. Dies hat zur Folge, dass dieser Weg für Kleinst- und Kleinunternehmen oft nicht effizient ist und die Vertriebsstärkung durch interne Reorganisation angestrebt wird, d. h. das Verteilen der Vertriebsaufgaben auf die Belegschaft des Unternehmens. Allerdings erfordert die Abbildung der Vertriebsfunktion durch die Beschäftigten des Unternehmens eine umfassende Reorganisation der Unternehmensprozesse und der Aufgaben der Beschäftigten. Die Übertragung von Vertriebsaufgaben auf die Beschäftigten erfolgt jedoch meist informell mit nur unzureichender Vorbereitung und Planung (Malshe et al. 2017, Mayr & Lixl 2019), was Ineffizienzen zur Folge haben kann und das Risiko gesundheitlicher

Beeinträchtigungen der betroffenen Personen erhöht (Heinzel 2021). Vorgehensweisen, wie diese Veränderungsprozesse gestaltet werden können, sind jedoch in der Literatur nicht prominent vertreten.

Daran anschließend stellt der Beitrag die Entwicklung einer Vorgehensweise zur erfolgreichen Vertriebsstärkung durch interne Reorganisation in Kleinst- und Kleinunternehmen dar.

2. Vorüberlegungen

Vertriebsstärkung durch interne Reorganisation ist ein spezifischer Change-Management-Prozess. Vor dem Hintergrund einer Misserfolgsquote von 60 % bis 80 % bei Veränderungsinitiativen (Beer & Nohria 2000; Houben et al. 2007) ist es wichtig, zentrale Erkenntnisse der Literatur bei der Entwicklung einer Vorgehensweise zur Vertriebsstärkung zu beachten.

Ein zentraler Erfolgsfaktor in Change-Management-Prozessen ist die Partizipation der Beschäftigten (Lauer 2019). Ein potentiell ertragreiches Verfahren zur Förderung der Partizipation in Change-Management-Prozessen ist der Aufgabenbezogene Informationsaustausch (Neubert & Tomczyk 1986; Pietzcker & Looks 2013; Hacker 2016), ein theoretisch fundiertes und empirisch erprobte Verfahren für partizipative, zeitweilige und effektive Kleingruppenarbeit, welches verschiedene in der Literatur verankerte Prinzipien zur Förderung der Partizipation umfasst und an welches angeschlossen werden kann (Gühne et al. 2025). Die wiederholte Anwendung ermöglicht es auch, auf Entwicklungen bei der Prozessumsetzung zu reagieren und fortwährende Anpassungen vorzunehmen.

Ein weiterer zentraler Erfolgsfaktor ist die Antizipation und frühzeitige Berücksichtigung potentieller Barrieren. Barrierentypologien können Barrieren nicht abschließend erfassen, da Barrieren in mannigfaltiger Form, auf verschiedenen Ebenen in jeder Phase des Veränderungsprozesses auftreten können, ihre Ausgestaltung kontextspezifisch ist und sie sich im Prozess dynamisch verändern können (Pietrzyk & Gühne 2023). Gleichwohl ist es wichtig, bekannte Herausforderungen bei der Konzeption einer spezifischen Vorgehensweise einzubeziehen, insofern diese fall- und kontextspezifisch im Verfahrensablauf partizipativ reflektiert und bedarfsweise angepasst werden (Schirmer et al. 2022). Die frühzeitige Berücksichtigung bekannter Herausforderung kann dazu beitragen, unzutreffende Erwartungen oder Ängste zu vermeiden, durch effiziente Vorbereitung den Prozess zu verkürzen und somit positive Ergebnisse der Reorganisation schneller und mit weniger Ressourceneinsatz zu erreichen. Für die Vertriebsstärkung durch interne Reorganisation in Kleinst- und Kleinunternehmen existieren in der Literatur jedoch nur Arbeiten zu Teilaspekten, welche als Barrieren wirken können (u. a. Malshe et al. 2017; Spillecke & Brettel 2013, Vásquez-Ruiz et al. 2024).

Daran anschließend erfolgt die Verfahrensentwicklung in zwei Schritten: In einem ersten Schritt werden Barrieren der Vertriebsstärkung durch interne Reorganisation identifiziert. In einem zweiten Schritt werden die Ergebnisse mit dem Aufgabenbezogenen Informationsaustausch kombiniert und zu einer Vorgehensweise zusammengefasst, welche die Grundsätze menschengerechter Arbeitsgestaltung bei der internen Reorganisation berücksichtigt. Die folgende Darstellung fokussiert auf den ersten Schritt der Verfahrensentwicklung.

3. Methodik und Vorgehen

Die Untersuchung von Barrieren bei der Vertriebsstärkung durch interne Reorganisation erfolgt mittels einer Fallstudie (Yin 2018) mit Aktionsforschungsansatz (Bergold & Thomas, 2020). Die Fallstudie wird bei einem Maschinenbauunternehmen in der sächsischen Oberlausitz mit 48 Beschäftigten (KMU) umgesetzt, welches das bisher informelle und situativ-reagierende Vorgehen beim Vertrieb durch verschiedene Beschäftigte strukturieren und effizienter gestalten möchte.

Die Datenerhebung erfolgt begleitend mittels teilnehmender Beobachtungen der Treffen der regelmäßig tagenden internen realen Kleingruppe zur Stärkung des Vertriebs sowie Interviews und Befragungen von an der Gruppe beteiligten und nicht beteiligten Personen. Ergänzend wird das Zusammenspiel mit digitalen Assistenzsysteme betrachtet: Der Prozess der Einführung einer CRM-Software zur Verwaltung der Unternehmenskontakte sowie die Entwicklung und Einführung eines Dashboards zur Visualisierung der Vertriebssituation. Beobachtungen während der Treffen wurden protokolliert und erarbeitete Dokumente werden gespeichert. Durch die verschiedenen Formen der Datenerhebung ist es möglich, den Reorganisationsprozess und die dabei auftretenden Barrieren umfassend abzubilden. Aktuell sind der Reorganisationsprozess und die Datenerhebung noch nicht abgeschlossen.

Die erhobenen Daten werden mittels inhaltsstrukturierender qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz 2018) ausgewertet. Die Einordung der identifizierten Barrieren orientiert sich am MTO-Konzept (Strohm & Ulich 1997; Ulich 2011). Zur Unterstützung der Datenauswertung wurde die Open-Source-Software QualCoder (Curtain 2025) verwendet.

4. Ergebnisse

Bei der laufenden Auswertung der erhobenen Daten konnten Barrieren auf den drei Ebenen Mensch, Technik, Organisation (Strohm & Ulich 1997; Ulich 2011) identifiziert werden.

Auf der Ebene „Mensch“ ist eine Barriere „Fehlende Kompetenzen“, was insbesondere kommunikative Fähigkeiten betrifft und zum Aufschieben von Vertriebsaufgaben führen kann, wenn sich eine Person von dieser Aufgabe überfordert fühlt. Fehlende Kompetenzen im individuellen Zeitmanagement wiederum erschweren den Wechsel zwischen traditioneller Aufgabe und Vertriebstätigkeiten. Eine andere Barriere ist die „Herausforderung des Professionsverständnisses“ - was sich beispielsweise bei Personen technischer Berufe zeigt, welche im betrachteten Fall die Kommunikation mit Kunden als Arbeitsunterbrechung oder -störung wahrgenommen haben. Eine Folge ist, dass Vertriebsaufgaben zeitlich verschoben werden, bis es die traditionelle Aufgabe zulässt, sich mit diesen zu beschäftigen. Eine weitere Barriere ist der „Inter-Rollenkonflikt“, wenn die traditionelle Rolle mit Rollenerwartungen der Vertriebstätigkeit kollidiert, beispielsweise bei der Abwägung von Qualitäts- und Terminaspekten.

Eine Barriere auf der Ebene „Technik“ ist „Fehlende CRM-Software“, welche als Aspekt des Wissensmanagements insbesondere wichtig ist, da die Vertriebsaufgaben und damit die Betreuung der Kunden von vielen Personen ergänzend zu ihren traditionellen Tätigkeiten ausgeführt werden. Eine weitere Barriere ist das „Fehlen von Reflexionsinstrumenten“, welche den Beschäftigten Rückmeldung zur Auftragslage

und damit zu Erfolgen bzw. zur Notwendigkeit der Vertriebstätigkeit geben. Diese Informationen können die Akzeptanz der Maßnahmen und die Motivation erhöhen - sowohl bei mit Vertriebsaufgaben betrauten Personen, als auch bei den anderen Beschäftigten. „Fehlende Zeiterfassungsmöglichkeiten“ ist eine weitere Barriere, welche das realistische Einschätzen von Zeitbedarfen für Vertriebstätigkeiten und das Wissen um für den Vertrieb investierte Zeiten erschwert, da eine retrospektive Bewertung nicht verlässlich möglich ist (Gühne et al. 2021). „Unzureichende Implementierung“ der Softwarelösungen kann die Nicht-Anwendung der zur Verfügung stehenden digitalen Assistenzsysteme zur Folge haben. Die Barriere „Eingeschränkte Datensouveränität“ wiederum verhindert, dass Unternehmen die benötigten digitalen Assistenzsysteme einführen können oder diese nicht auf den benötigten Daten zugreifen können.

Auf der Ebene „Organisation“ sind „Tradierte informelle Vertriebspraktiken“ eine Herausforderung, da diese expliziert und angepasst werden müssen. Eine mögliche Folge informeller Vertriebspraktiken ist das fehlende Wissen um Zeitbedarfe, da informelle Tätigkeiten nicht erfasst werden. Eine weitere Folge ist, dass als Zusatzaufgabe empfundene Vertriebstätigkeiten ignoriert werden können, d. h. nur mit einem hohen Führungs- und Kontrollaufwand funktionieren. Damit einhergehend ist die „Fehlende formale Fixierung der Reorganisationsergebnisse“ eine relevante Barriere, d. h., wenn die Veränderungsergebnisse nicht in angepassten Stellenbeschreibungen und Prozessen hinterlegt werden. Eine weitere Barriere ist die „Fehlende Einbindung der gesamten Belegschaft“, da Personen ohne Vertriebsaufgaben Teile der Aufgaben der nun auch formal für den Vertrieb zuständigen Personen im Arbeitsalltag übernehmen müssen. Eine Barriere ist zudem die „Fehlende Gestaltung des Übergangs“. So müssen neue IT-Systeme im Arbeitsalltag implementiert werden und es braucht regelmäßige Reflexionsrunden um den Fit der Maßnahmen zum Unternehmenskontext zu prüfen und wenn nötig Anpassungen vorzunehmen. Eine Barriere, welche die Akzeptanz der Maßnahmen erschwert, ist „Fehlendes strategisches Denken“ in der Belegschaft, sodass der Fokus auf das operative Geschäft und das Reagieren auf Herausforderungen konzentriert ist. Die Barriere „Fehlende Betonung positiver Aspekte der Reorganisation für die Beschäftigten“ vergibt Möglichkeiten zur individuellen Motivation. So können die erhöhte Abwechslung bei der Arbeit, eine hohe Selbstwirksamkeit und die Beteiligung an Unternehmensführungsaufgaben betont werden.

5. Diskussion

Es konnten Barrieren bei der Vertriebsstärkung durch interne Reorganisation auf den Ebenen Mensch, Technik, Organisation identifiziert werden. Da die Reorganisation in der Fallstudie noch nicht abgeschlossen ist, dauert die Datenerhebung und -auswertung an. Die Ergebnisse werden mit dem Aufgabenbezogenen Informationsaustausch kombiniert und eine Vorgehensweise für Kleinst- und Kleinunternehmen erarbeitet.

Der Beitrag erweitert die Literatur zum Change-, Sales- und Customer-Relationship-Management. Zudem der Beitrag Unternehmen bei der erfolgreichen Umsetzung von interner Reorganisation zur Vertriebsstärkung unterstützen, somit Ineffizienzen beseitigen und das Risiko gesundheitlicher Beeinträchtigungen der betroffenen Personen verringern.

6. Literatur

Beer M, Nohria N (2000) Cracking the code of change. Harvard Business Review 78:133–141.

Bergold J, Thomas S (2020) Partizipative Forschung. In Mey G & Mruck K (Hrsg) Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie. Band 2: Designs und Verfahren. Wiesbaden: Springer, 113-133.

Curtain C (2025) QualCoder. Version 3.7. Computer Software. https://github.com/ccbogel/QualCoder/releases/tag/3.7

Gühne M, Mischer M, Kirsch TL, Pietrzyk U, Günther T, Hacker W (2021) GADIAM – Gesundes Arbeiten mit vernetzten digitalen Arbeitsmitteln: Lösungen zur Prävention von Fremd- und Selbstüberforderung bei entgrenzter Wissens- und Innovationsarbeit. In: Bauer W, Mütze-Niewöhner S, Stowasser S, Zanker C, Müller N (Hrsg) Arbeit in der digitalisierten Welt – Praxisbeispiele und Gestaltungslösungen aus dem BMBF-Förderschwerpunkt. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 145–158.

Gühne M, Lang K, Pietrzyk U (2025) Erfolgsfaktoren der Partizipation bei der Leitbildentwicklung durch aufgabenbezogenen Informationsaustausch. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg) Arbeit 5.0: Menschzentrierte Innovationen für die Zukunft der Arbeit. 71. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. Dortmund: GfA-Press, 1106.

Heinzel V (2021) Coping with Sales Pressure – Eine literaturbasierte Analyse von Strategien zur Stressbewältigung im Vertrieb. Junior Management Science 6(2):279–298.

Hacker W (2016) Zeitweilige Gruppenarbeit für Prozessinnovationen: Grundlagen, Organisation und Wirkungen. In Jöns I (Hrsg) Erfolgreiche Gruppenarbeit: Konzepte, Instrumente, Erfahrungen. Wiesbaden: Gabler Verlag, 25-35.

Houben A, Frigge C, Pongratz HJ, Trinczek R (2007) Veränderungen erfolgreich gestalten. Repräsentative Untersuchung über Erfolg und Misserfolg im Veränderungsmanagement. C4 Consulting GmbH, Technische Universität München. https://docplayer.org/31113478-Veraenderungen-erfolgreichgestalten.html

Kuckartz U (2018) Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Weinheim: Beltz Juventa.

Lauer T (2019) Change Management: Grundlagen und Erfolgsfaktoren. Berlin: Springer Gabler.

Malshe A, Friend SB, Al-Khatib J, Al-Habib MI, Al-Torkistani HM (2017) Strategic and operational alignment of sales–marketing interfaces: Dual paths within an SME configuration. Industrial Marketing Management 66:145–158.

Mayr S, Lixl D (2019) Restructuring in SMEs – A multiple case study analysis. Journal of Small Business Strategy 29(1):85–98.

Neubert J, Tomczyk R (1986) Gruppenverfahren der Arbeitsanalyse und Arbeitsgestaltung. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.

Pietrzyk U, Gühne M (2023) Barrierenanalyse bei digitalen Arbeitsmitteln. Scientific Reports – Journal of the University of Applied Sciences Mittweida 2003(1):31–34.

Pietzcker F, Looks P (2010) Der Aufgabenbezogene Informationsaustausch - Zeitweilige partizipative Gruppenarbeit zur Problemlösung. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.

Schirmer F, Gühne M, Geithner S (2022) Barrieren des Demografiemanagements erkennen und überwinden. In: Schwuchow K, Gutmann J (Hrsg) HR-Strategie: Demografie als Chance. Alter – Gesundheit – Diversität. Freiburg: Haufe, 13–23.

Spillecke SB, Brettel M (2013) The impact of sales management controls on the entrepreneurial orientation of the sales department. European Journal of Marketing 47(8):1234–1260.

Strohm O, Ulich E (1997) Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten. Zollikon: vdf Verlag.

Ulich E (2011) Arbeitspsychologie. 7. Aufl. Zürich: vdf Hochschulverlag / Stuttgart: Schäffer Poeschel.

Vásquez-Ruiz LA, Núñez-Ríos JE, Sánchez-García JY (2024) Prioritizing factors to foster improvement of sales operations in small- and medium-sized industrial organizations. Systems 12(9):383.

Yin R (2018) Case study research: Design and method. Thousand Oaks: SAGE Inc.

Formate und Möglichkeiten erfolgreichen Praxistransfers der im Projekt PAL gewonnenen Erkenntnisse

Rico GANßAUGE, Lukas BURCHARD, Roberto KOCKROW

Arbeitsgebiet Arbeitswissenschaft und Arbeitspsychologie
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
Siemens-Halske-Ring 14, D-03046 Cottbus

Kurzfassung: Der Beitrag beschreibt und vergleicht Transferformate, die im Forschungsprojekt „PerspektiveArbeit Lausitz“ (PAL) zur Weitergabe arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse eingesetzt werden. Vor dem Hintergrund der im Projekt entwickelten digitalen Lösungen zur menschenzentrierten Gestaltung von Arbeit wird dargestellt, wie der Transfer verallgemeinerbarer Erkenntnisse über unterschiedliche Formate unterstützt wird. Im Fokus stehen dialogische, demonstrative, publizistische und kommunikative Transferformate, darunter Veranstaltungen, Demonstrations- und Laborformate, Leitfäden, Veröffentlichungen sowie digitale Kommunikationskanäle. Die vergleichende Betrachtung der Formate zeigt deren jeweilige Stärken und Einsatzbereiche und verdeutlicht, dass der Praxistransfer im PAL-Projekt als kombinierter und mehrkanaliger Prozess gestaltet ist.

Schlüsselwörter: Wissenstransfer, Transferformate, menschenzentrierte Arbeitsgestaltung, Arbeitswissenschaft, Digitalisierung der Arbeit

1. Bisherige Entwicklungen

Im Forschungsprojekt „PerspektiveArbeit Lausitz“ (PAL) arbeiten Wissenschaftler, Anwendungspartner und Multiplikatoren seit Ende 2021 erfolgreich mit Fokus auf eine menschenzentrierte Gestaltung künftiger Arbeitsprozesse zusammen. In dieser Zeit konnten Praxisbedarfe identifiziert und passgenaue, digitale Lösungen entwickelt werden. Um Herausforderungen, z.B. durch Medienbrüche, hohe Informationsdichte und mangelnde Interaktionseffizienz zu begegnen, wurden bei Anwendungspartnern unter anderem ein Dashboard zur Unterstützung der Kapazitätsplanung und Grundbausteine für ein digitales Wissensmanagement erstellt. Auch die Entwicklung einer mobilen App für die Unterstützung von Montage und Dokumentationspflichten bei der Solarinstallation wurde in ihrer Entwicklung hinsichtlich der Gestaltung der Benutzeroberfläche arbeitswissenschaftlich begleitet.

Die Entwicklung und iterative Verfeinerung der digitalen Lösungen erfolgte dabei stets unter Einbezug der Mitarbeiter und weiterer betrieblicher Beteiligter (Hoppe, Kockrow 2024). Aktuell werden Anwendertests hinsichtlich der Langzeitwirkungen durchgeführt, um belastbare Prognosen der erzeugten Mehrwerte abzuleiten.

Im Projekt PAL gewinnt der Transfer zunehmend an Bedeutung. Neben dem Transfer innerhalb der anwendenden Unternehmen rückt insbesondere der breite Transfer verallgemeinerbarer Erkenntnisse in den Mittelpunkt, der im Projekt über eine Vielzahl komplementärer Formate unterstützt wird. Hierzu zählen neben der Entwicklung von Leitfäden und praxisorientierten Handlungshilfen auch dialogische, demonstrative, publizistische und kommunikative Transferformate, darunter die im

Projekt aufgebauten Demonstrationslabore „Living- und Learning-Labs“ (LLL), Veranstaltungen, digitale Kommunikationskanäle sowie Veröffentlichungen. Entsprechende Transferaktivitäten wurden bereits umgesetzt und werden im weiteren Projektverlauf fortgeführt. Die eingesetzten Formate und ihre jeweilige Rolle im Praxistransfer werden im Beitrag vorgestellt und vergleichend eingeordnet.

2. Transfer

In der aktuellen Projektphase gewinnt der Transfer zunehmend an Bedeutung. Zunächst müssen die Lösungen innerhalb der anwendenden Unternehmen transferiert und dabei gewachsene organisationale Abläufe und Strukturen nach dem systemischen Gestaltungsansatz (Kockrow et al. 2016) verändert und angepasst werden. Danach werden verallgemeinerbare Erkenntnisse in eine breite interessierte Öffentlichkeit transferiert, wozu verschiedene Formate genutzt werden. Diese Mehrkanaligkeit ist forschungsseitig gut begründet, da erfolgreicher Wissenstransfer als sozialer, iterativer und kontextabhängiger Prozess verstanden wird. Weiterhin können so unterschiedliche Zielgruppen, Nutzungskontexte und Transferziele angepasst adressiert werden.

2.1 Schaufenster

Dabei handelt es sich um eine Räumlichkeit für ca. 25 Personen innerhalb des Living- und Learning-Lab, in denen zwei große Videokonferenz-Bildschirme (Format 65 Zoll) angebracht sind. Durch die Größe und Nähe der Beteiligten werden Details sehr gut sichtbar werden und der Austausch zwischen verschiedenen PAL-Partnern im Sinne einer umfassenden Arbeitsgestaltung wird unterstützt (Abb. 1).

.

Abbildung 1: *Beispielfoto der Schaufenster mit Live-Demonstration bei einem PAL-Projektpartner.*

Insbesondere können spezielle technische Lösungen oder Anwendungen von anderen PAL-Partnern demonstriert werden. Live-Vorführungen und Schaltungen in beteiligte Unternehmen sind möglich, welche ein nahezu direktes Erleben gestatten. Trotz großer räumlicher Verteilung der Forschungs- und Anwendungspartner sind dadurch Infoveranstaltungen als Transferformate mit hohem Zuspruch und geringer Einstiegshürde möglich. In der Vergangenheit konnten z. B. umfangreiche

Darstellungen und Erläuterungen von Montage- und Kommissioniertätigkeiten oder des virtuellen CAVE-Raumes zur Darstellung von Arbeitsumgebungen des Partners Hochschule Mittweida bei Live-Schaltungen detailreich dargestellt werden und stießen auf entsprechend positive Resonanz bei den Teilnehmern. Ähnliche Möglichkeiten bieten sich beim Arbeitsgebiet Awip in Cottbus selbst, indem per Kamera in das Forschungslabor der BTU geschaltet werden kann. Ein Überblick sowie Details können mittels mobiler Kamera den Anwesenden beim anderen Projektpartner zugänglich gemacht werden. Diese Schaufenster unterstützen gleichzeitig den Charakter der intensiven und spezialisierten Zusammenarbeit im Rahmen des Projektes PAL, indem Synergien und Ergänzungspotenziale für die Anwesenden unmittelbar deutlich gemacht werden können.

2.2 PAL.Interaktiv

Die Veranstaltungsreihe „PAL.Interaktiv“ ist ein dialogisches und demonstratives Transferformat im Projekt PerspektiveArbeit Lausitz, das insbesondere auf niedrigschwellige, praxisnahe Einblicke in die im Projekt aufgebauten Demonstrations- und Laborstrukturen abzielt. In kompakten, meist etwa 60-minütigen Online-Veranstaltungen erhalten Unternehmen und weitere Interessierte die Möglichkeit, ausgewählte Demonstrationszentren und Labore kennenzulernen und direkt mit den verantwortlichen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in den Austausch zu treten.

Abbildung 2: *Live-Demonstration während einer Veranstaltung von PAL.Interaktiv.*

Charakteristisch für das Format ist die Kombination aus fachlicher Einführung, Live-Demonstrationen von Technologien und Arbeitsprozessen sowie einer anschließenden Austauschrunde, in der konkrete Fragen aus der betrieblichen Praxis diskutiert werden. Die thematische Bandbreite reicht dabei von adaptiver manueller Montage über digitale Assistenzsysteme bis hin zu automatisierten Fertigungsprozessen und ermöglicht eine anschauliche Vermittlung arbeitswissenschaftlicher Gestaltungsansätze. Durch das digitale Format werden geringe Zugangshürden geschaffen und zugleich regionale Vernetzung sowie die Verstetigung des Transfers zwischen Forschung und Praxis unterstützt. Am Arbeitsgebiet Awip kann dieses Format sehr gut mit den eingangs dargestellten „Schaufenstern“ verknüpft werden.

2.3 Newsletter und Projektwebseite

Newsletter und Projektwebseite übernehmen im Projekt PAL eine zentrale Rolle als kommunikative Verstetigungsformate des Praxistransfers. Über diese Kanäle werden regelmäßig Informationen zu laufenden Praxisprojekten, Veranstaltungen, neuen Transferformaten sowie zu entwickelten Lösungen bereitgestellt. Die Newsletter verbinden dabei Berichte aus den Unternehmen mit Einblicken in Forschungsaktivitäten und stellen praxisnahe Beispiele zu Themen wie digitale Assistenzsysteme, Gamification, Ergonomie, Lernmanagement oder KI-gestützte Anwendungen vor. Ergänzt werden diese Inhalte durch Hinweise auf Workshops, Kooperationsbörsen, Stammtische und Messeauftritte sowie durch die Veröffentlichung erster Leitfäden für KMU. Die Projektwebseite dient darüber hinaus als dauerhafte Plattform zur Bereitstellung von Beiträgen, Veranstaltungsrückblicken, Präsentationen und weiterführenden Materialien. Durch die Kombination aus regelmäßiger Information, anschaulichen Praxisbeispielen und der Einbindung „authentischer Stimmen aus der Praxis“ tragen Newsletter und Webseite wesentlich zur Sichtbarkeit des Projekts bei und ermöglichen einen zeit- und ortsunabhängigen Zugang zu den im Projekt gewonnenen Erkenntnissen.

2.4 PAL-Stand auf der KFT-Herbstfachtagung

Die Beteiligung des Projekts PerspektiveArbeit Lausitz mit einem eigenen Stand auf der KFT-Herbstfachtagung (u. a. in 2023 und 2025) stellt ein zentrales demonstratives und kommunikatives Transferformat dar. Die KFT (Kooperative Forschungsstelle Technikstress) ist eine vom Arbeitsgebiet Arbeitswissenschaft und Arbeitspsychologie seit 2011 an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg angesiedelte Forschungseinrichtung, die sich mit der menschengerechten Gestaltung von Arbeit unter Bedingungen digitaler Technologien und Industrie 4.0 befasst. Die KFT-Herbstfachtagung bietet als etablierte Fachveranstaltung mit Teilnehmenden aus Wissenschaft, Unternehmenspraxis und Politik einen geeigneten Rahmen, um Projektergebnisse einer fachlich interessierten Zielgruppe zugänglich zu machen. Der PAL-Stand diente dabei als niedrigschwellige Austauschplattform, auf der zentrale Inhalte und Anwendungen aus den Praxisprojekten vorgestellt und diskutiert wurden. Neben der Präsentation konkreter Lösungen bot der Stand Raum für vertiefende Gespräche, Vernetzung und den Austausch über arbeitswissenschaftliche Gestaltungsansätze im Kontext des digitalen Wandels. Durch die Einbettung in das Konferenzprogramm sowie die begleitende Posterausstellung konnten die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse sichtbar gemacht und Anschlussmöglichkeiten für weiterführenden Transfer und Kooperationen geschaffen werden.

2.5 Eigene Schriften- und Veranstaltungsreihe (KFT-Buch und KFT-Tagung)

Ein zentrales publizistisches Transferformat im Projekt PerspektiveArbeit Lausitz stellt die Schriftenreihe der Kooperativen Forschungsstelle Technikstress (KFT) dar. In der Reihe *„Arbeit und Technik im Wandel“* werden arbeitswissenschaftliche Forschungsergebnisse systematisch aufbereitet und als Open-Access-Publikationen einer breiten Fachöffentlichkeit sowie praxisnahen Zielgruppen zugänglich gemacht.

PAL-relevante Inhalte werden dabei gezielt in Form von thematisch eingebetteten Beiträgen veröffentlicht, die sowohl konzeptionelle Erkenntnisse als auch Erfahrungen

aus der Umsetzung in den Anwendungspartnerunternehmen adressieren. Die Schriftenreihe ermöglicht einen nachhaltigen und qualitätsgesicherten Wissenstransfer über die unmittelbare Projektlaufzeit hinaus und unterstützt die Übertragbarkeit der im Projekt gewonnenen Erkenntnisse auf weitere betriebliche Kontexte. Ergänzend fungiert die KFT-Herbstfachtagung als dialogisches Transferformat, in dem Inhalte der Schriftenreihe vorgestellt, diskutiert und mit Akteuren aus Wissenschaft, Unternehmenspraxis und Politik rückgekoppelt werden.

3. Zusammenfassung und Vergleich der Transferformate

Im PAL-Projekt kommen unterschiedliche Transferformate zum Einsatz, die sich hinsichtlich Zielsetzung, Reichweite, Interaktionstiefe und Nachhaltigkeit ergänzen. Die vorgestellten Formate adressieren jeweils unterschiedliche Phasen und Bedarfe des Praxistransfers.

Dialogische Formate wie die Veranstaltungsreihe PAL.Interaktiv eignen sich insbesondere für den frühzeitigen Austausch, die Diskussion konkreter Fragestellungen und die direkte Rückkopplung zwischen Forschung und den Bedarfen und Anforderungen der Praxis. Ihre Stärke liegt in der hohen Interaktivität und der Möglichkeit, Fragen unmittelbar zu adressieren. Gleichzeitig ist ihre Reichweite im Vergleich zu rein digitalen oder publikativen Formaten begrenzt, da sie zeitlich terminiert sind und eine aktive Teilnahme erfordern.

Demonstrative Formate, etwa die genannten Schaufenster-Veranstaltungen, Live-Demonstrationen oder der PAL-Stand auf der KFT-Herbstfachtagung, zeichnen sich durch eine hohe Anschaulichkeit und Anwendungsnähe aus. Sie ermöglichen es, komplexe arbeitswissenschaftliche Inhalte, technische Lösungen und Arbeitsprozesse sichtbar und erlebbar zu machen. Diese Formate sind besonders geeignet, um Interesse zu wecken, Akzeptanz aufzubauen und erste Zugänge für weiterführende Transferaktivitäten zu schaffen. Gleichzeitig sind sie mit einem höheren organisatorischen Aufwand verbunden und entfalten ihre Wirkung häufig punktuell.

Publikative Transferformate wie die KFT-Schriftenreihe und projektbezogene Leitfäden leisten einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Sicherung und Verbreitung der im Projekt gewonnenen Erkenntnisse. Sie ermöglichen eine systematische Aufbereitung, Zitierfähigkeit und Übertragbarkeit über das Projekt hinaus. Ihre Stärke liegt in der langfristigen Verfügbarkeit und der Möglichkeit, Ergebnisse auch außerhalb konkreter Veranstaltungen nutzbar zu machen. Im Vergleich zu dialogischen und demonstrativen Formaten bieten sie jedoch weniger unmittelbare Rückkopplung aus der Praxis.

Kommunikative Verstetigungsformate wie Newsletter und Projektwebseite übernehmen eine verbindende Rolle im Transfergeschehen. Sie informieren kontinuierlich über Projektaktivitäten, verweisen auf Veranstaltungen und Veröffentlichungen und machen Projektergebnisse zeit- und ortsunabhängig zugänglich. Besonders durch die Einbindung von Praxisberichten und „Stimmen aus der Praxis“ tragen sie zur Sichtbarkeit und Anschlussfähigkeit des Projekts bei, ersetzen jedoch keine interaktiven oder demonstrativen Formate.

In der Gesamtschau zeigt sich, dass kein einzelnes Transferformat für sich genommen ausreichend ist, um den Praxistransfer im Kontext digitaler und menschengerechter Arbeitsgestaltung erfolgreich zu gestalten. Die Wirksamkeit des Transfers im PAL-Projekt ergibt sich vielmehr aus der gezielten Kombination komplementärer Formate, die je nach Zielgruppe, Nutzungskontext und Transferziel

eingesetzt werden. Damit wird dem Verständnis von Wissenstransfer als sozialem, iterativem und kontextabhängigem Prozess Rechnung getragen.

4. Fazit und Ausblick

Der Beitrag verdeutlicht, dass der Praxistransfer im Projekt PerspektiveArbeit Lausitz als mehrstufiger und kombinierter Prozess gestaltet ist, der unterschiedliche Transferformate gezielt miteinander verknüpft. Dialogische, demonstrative, publizistische und kommunikative Formate adressieren verschiedene Zielgruppen, Nutzungskontexte und Transferziele und entfalten ihre Wirkung insbesondere im Zusammenspiel. Die Erfahrungen aus dem Projekt zeigen, dass niedrigschwellige Zugänge, reale Anwendungsszenarien und kontinuierliche Kommunikation zentrale Voraussetzungen für Akzeptanz und Übertragbarkeit arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse sind.

Im weiteren Projektverlauf stehen insbesondere die Evaluation langfristiger Auswirkungen der entwickelten Lösungen sowie der eingesetzten Transferformate auf Mensch und Organisation im Fokus. Insbesondere Technikwirkung/Technikstress, Kompetenzentwicklung und organisationale Auswirkungen wie Kommunikation und Führung werden dabei betrachtet. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen genutzt werden, um bestehende Transferformate weiterzuentwickeln und auf andere Anwendungsfelder zu übertragen. Damit leistet das PAL-Projekt einen Beitrag für die menschengerechte Arbeitsgestaltung im laufenden und zukünftigen digitalen Wandel.

5. Literatur

Hoppe A, Kockrow R (2024) Herausforderungen und Lösungsansätze bei der Digitalisierung von KMU. In: Tagungsband Arbeitswissenschaft in-the-loop: Mensch-Technologie-Integration und ihre Auswirkung auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung“ der 70. GfA-Frühjahrstagung, Stuttgart 06.03.-08.03.2024, S. 37.

Kockrow R, Hoppe A, Binkowski S, Schwedt V, Ganßauge R (2016) Das Awip-Bewertungskonzept: Ganzheitlicher Ansatz für Arbeitssystemanalysen am Beispiel von Leitwarten. In: Arbeit in komplexen Systemen - Digital, vernetzt, human?! 62. GfA-Frühjahrskongress, 02.03. - 04.03.2016, Aachen, S. 1 – 6, B.1.15

Förderhinweis/ Danksagung: Ein besonderer Dank dem Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR), das durch die Förderung des Verbundprojektes „PerspektiveArbeit Lausitz – Kompetenzzentrum für die Arbeit der Zukunft in Sachsen und Brandenburg“ (FKZ: 02L19C303) die Forschungs- und Transferarbeit ermöglichte.

Hybride Demonstrationszentren als Treiber menschengerechter Digitalisierung

Fabian DIETRICH[1], Robert ECKARDT[2], Falk GRUBER[2], Sarah KELSCHEBACH[3], Roberto KOCKROW[4], Leif GOLDHAHN[2]

[1] Institut für Produktionstechnik, Westsächsische Hochschule Zwickau Kornmarkt 1 D-08056 Zwickau
[2] Institut InnArbeit – Zentrum für Innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida
[3] Fachkräftenetzwerk Oberlausitz gGmbH, Neusalzaer Straße 5, D-02625 Bautzen
[4] Arbeitswissenschaft/ Arbeitspsychologie, Brandenburgische Technische Universität Cottbus – Senftenberg, Siemens-Halske-Ring 14, D-03046 Cottbus

Kurzfassung: Die Lausitz befindet sich mitten in einem Strukturwandel. Zu den resultierenden Herausforderungen für die Region kommen stetige technische Neuerungen, welche zahlreiche Potentiale bieten, aber speziell für die KMU auch hohe Einstiegshürden aufweisen. Die im Kompetenzzentrum “PerspektiveArbeit Lausitz” (PAL) entwickelten verschiedenartigen Demonstrationszentren dienen dazu, innovationsbezogene Inhalte neutral und praxisbezogen für den Transfer aufzubereiten sowie den Entscheidungsträgern von Unternehmen, aber auch Schülern, Studenten, Mitarbeitenden und sonstigen Interessierten zur Verfügung zu stehen. In den erlebbaren und zielgruppenspezifisch angepassten Transferräumen können Weiterbildung, Hemmnisabbau, Netzwerkpflege, Kooperationsbildung und Bedarfsermittlung für die Forschung erfolgen.

Schlüsselwörter: Menschengerecht, Digitalisierung, Künstliche Intelligenz, Demonstrationszentren, Wissenstransfer, Hybrid, Arbeitswissenschaft

1. Vorstellung PAL

Die Lausitz besteht geografisch aus den Landkreisen Bautzen und Görlitz in Sachsen sowie u.a. aus Spree-Neiße, Elbe-Elster und der kreisfreie Stadt Cottbus in Brandenburg (Web1). Diese grenzübergreifende Region steht derzeit vor einer Vielzahl von Herausforderungen, welche sowohl struktureller als auch wirtschaftlicher Natur sind. Dabei ist der ungedeckte Fachkräftebedarf eine der drängendsten Problemstellungen, welche neben den stark ländlich geprägten Eigenschaften der Region auch durch den demografischen Wandel verschärft wird. Die alternde Bevölkerung führt zu einem Rückgang des Erwerbspersonenpotenzials, was die Wettbewerbsfähigkeit vieler kleiner und mittelständischer Unternehmen (KMU) gefährdet. Die Region, historisch geprägt durch Braunkohletagebau und Energiewirtschaft sowie daraufhin spezialisiertem Maschinenbau und Elektrotechnik, befindet sich mitten in einer Transformationsphase hin zu nachhaltigem Wirtschaften, wodurch zusätzlich neue Qualifikationsanforderungen an die Arbeitskräfte gestellt werden. Gleichzeitig wirken Effekte der zunehmenden Digitalisierung, Automatisierung und des Einsatzes von Künstlicher Intelligenz (KI). Diese technologischen Entwicklungen, im Sinne der Hightech Agenda Deutschland (Web2) bieten zwar

Chancen für die Verbesserung von Effizienz und Innovationsfähigkeit, erfordern jedoch erhebliche Investitionen in Weiterbildung und Umschulung. Die Entscheider in KMU stehen in diesem Kontext der schnell voranschreitenden technisch-digitalen Innovation vor der Herausforderung, die neuen Technologien und Methoden der Arbeit zu verstehen und anzuwenden. Hemmschwellen entstehen durch fehlendes Fachwissen, Praxiserfahrung und Unsicherheit bei Investitionsentscheidungen.

KMU in der Lausitz müssen sich anpassen, um nicht nur Technologiedefizite zu überwinden, sondern auch die Bereitschaft ihrer Mitarbeitenden zur Anpassung an neue Technologien zu fördern. Das Kompetenzzentrum der Arbeitsforschung PAL spielt eine zentrale Rolle bei der Gestaltung dieses Strukturwandels in der Lausitz. Ziel ist es, KMU beim Übergang von einer kohleabhängigen Wirtschaft zu einem effizienten, diversifizierten, resilienten und nachhaltigen Wirtschaftsmodell zu unterstützen. PAL konzentriert sich dabei nicht nur auf die Qualifizierung von Arbeitskräften, sondern begleitet auch die Entwicklung und Integration digitaler sowie KI-gestützter Systeme aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive, um mit nachhaltigen Lösungen negative Beanspruchungsfolgen im Sinne des Technikstress (Hoppe 2009) bestmöglich zu vermeiden. Ziel ist es, ein Höchstmaß an Praktikabilität, Usability, Prozessergonomie und Akzeptanz zu generieren. Um möglichst viele KMU auf diese neuen, bei Praxispartnern entwickelten, prototypische Lösungen aufmerksam zu machen, wurden innerhalb der Projektlaufzeit verschiedene Demonstrationszentren etabliert.

2. Transferinstrument Demonstrationszentrum

Die Demonstrationszentren von PAL unterstützen die systematische Entwicklung, Präsentation und Diskussion innovativer Mensch-Technik-Interaktionen, digitaler Arbeitstechniken, einschließlich KI-gestützter Verfahren, Lern- und Trainingsszenarien, Verfahren der arbeitsbezogenen Belastungsanalyse und projektspezifischer Demonstratoren. Sie bilden damit eine zentrale infrastrukturelle Grundlage für die arbeitswissenschaftliche Innovationsentwicklung und fungieren zugleich als technische Basis der vielfältigen Transferformate des Verbundes. (Goldhahn, Merkel 2023). Zu diesen Formaten zählen u.a. thematische PAL-Workshops, Beiträge der Arbeitsforschungsakademie, das digitale live-Format PAL.Interaktiv sowie Erklärfilme und 360°-Bilder.

Die technische Ausstattung der Demonstrationszentren wird sowohl vorausschauend als auch bedarfsorientiert weiterentwickelt, idealerweise in enger Verzahnung mit kooperativen Vorhaben, den sog. Schwerpunktprojekten des PAL-Verbundes (Goldhahn 2023). Durch die experimentelle Umgebung der Zentren erhalten die adressierten Zielgruppen, insbesondere KMU, einen unmittelbaren und niedrigschwelligen Zugang zu den vorgestellten Technologien und Methoden.

Die PAL-Demonstrationszentren unterscheiden sich hinsichtlich Zielgruppen, Ausstattung und Funktion (vgl. Abbildung 1). Die Living Labs werden von Hochschulen mit oftmals ortsfester Technik betrieben. Sie zeigen neue Arbeitsweisen und Verfahren und werden im Idealfall kontinuierlich weiterentwickelt, um den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik abzubilden. Sie zielen auf Austausch und Transfer mit Industrie, Intermediären der Arbeitsforschung und Technologie-entwicklung sowie den Transfer in Studium und Weiterbildung ab. Damit bilden sie auch die Basis für die Learning Labs mit ihren Lehr-, Lern- und Trainingsoptionen, welche ebenfalls von den Hochschulen betrieben werden. Innovation Labs entstehen an den Unternehmensstandorten. Hier werden praxisorientierte Lösungen erarbeitet, getestet

und in Workshops den KMU, Intermediären und Bildungsträgern der Region vorgeführt und erklärt.

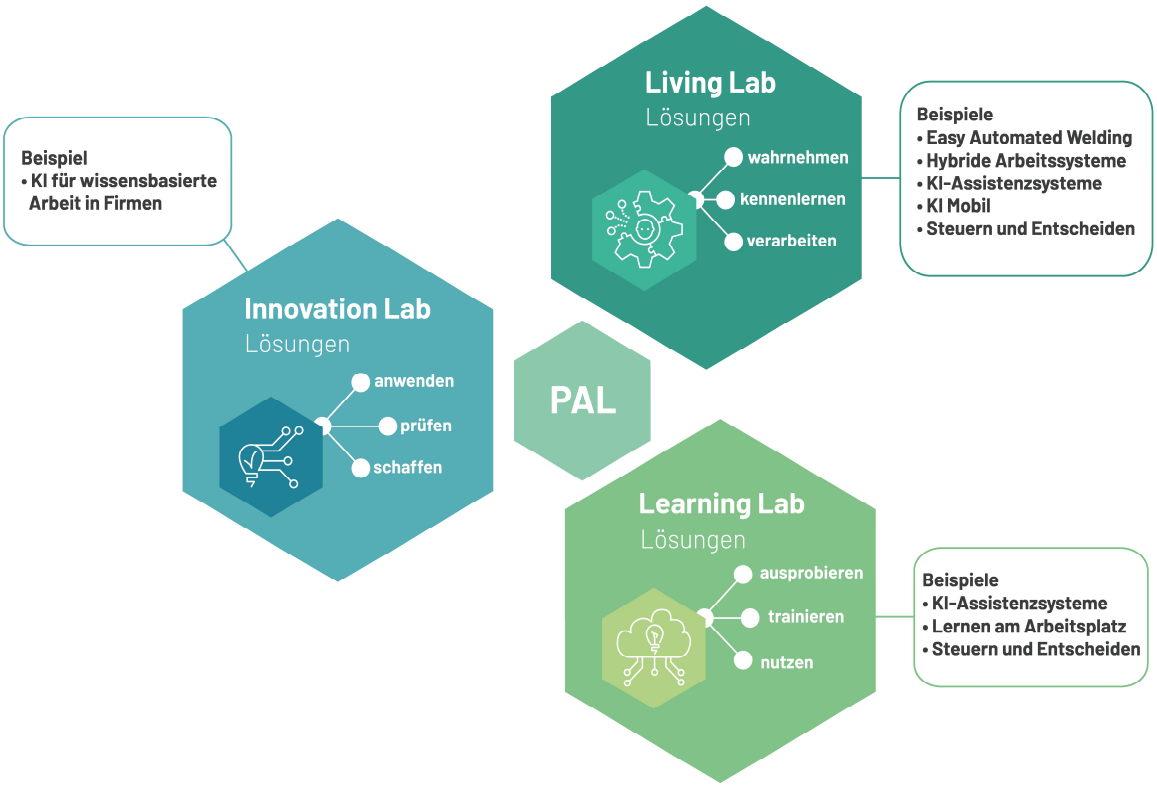


Abbildung 1: *Arten von Demonstrationszentren im PAL-Verbund.*

Folgende Ziele sollen mit den vorgestellten Labs erreicht werden:

- Neuartige Mensch-Technik-Interaktion wie datenbasierte Assistenz, hybride Arbeitssysteme und mobile Belastungsanalyse entwickeln.
- Innovative technische Ausstattung, praktische Versuche, analoge und digitale Transfer- und Lernangebote aufbauen und dauerhaft ermöglichen.
- Diskussionen anregen, Lösungen demonstrieren und weiterentwickeln, neue Anforderungen und Möglichkeiten aufzeigen.
- Klassisches Lernen, VR-basiertes Lernen, problembasiertes Lernen im Lab inkl. Weitentwicklung des Labs
- Bedarfe, vor allem von regionalen KMU, erfassen, analysieren und weiterleiten/ bearbeiten.

3. Beispiele erfolgreicher Umsetzung und Nutzung der Demonstrationszentren

Nachfolgend werden einige bereits erfolgreich erprobte Formate, welche durch den Aufbau der verschiedenen Demonstrationszentren ermöglicht wurden, vorgestellt.
Als **mobile Plattform für Living und Learning Lab-Angebote** fungiert der **PAL on Tour-Bus** (ehemaliger Linienbus), welcher projektbezogene Erkenntnisse unmittelbar an beliebige Standorte in die Lausitz transferiert und zukünftige Arbeitswelten anschaulich erfahrbar macht. Der Bus ist mit verschiedenen Demonstratoren aus PAL ausgestattet, u. a. der mobilen Versuchsplattform von **„KI Mobil“**, Er wird in unterschiedlichen Anwendungsszenarien, bspw. den Oberlausitzer Karrieretagen oder Ausbildungsmessen wie dem INSIDERTREFF in Löbau, eingesetzt. Sein Ziel besteht darin, das Interesse an Berufen in den MINT-Fachbereichen zu fördern, eine fundierte berufliche Orientierung zu unterstützen und auch bereits in Firmen integrierte Mitarbeitende zur Weiterbildung anzuregen. An allen Stationen innerhalb der Lausitz stehen interaktive Angebote bereit, welche zur Auseinandersetzung mit neuen Themenfeldern anregen, praktische Lernerfahrungen ermöglichen, den Stand von Wissenschaft und Technik niedrigschwellig präsentieren und die Erweiterung individueller Perspektiven fördern.

Darüber hinaus werden Veranstaltungen bei den KMU begleitet, darunter bspw. ein Teamtag, an dem Mitarbeitende für das Themenfeld KI sensibilisiert werden. Um dieses Ziel zu erreichen, durchlaufen die Teilnehmenden verschiedenen Stationen im **PAL on Tour-Bus**. Mit Hilfe KI-generierter Comics wird zunächst ein niedrigschwelliger Austausch realisiert, worauf anschließend eine KI-Anwendung mit eigenen Inhalten gefüllt und erprobt wird. Es können bspw. mit Hilfe eines KI-Systems Arbeitsschutzanweisungen visuell aufbereitet werden. Auf diese Weise entstehen neben der fachlichen Weiterbildung auch ad hoc Gespräche über Einsatzmöglichkeiten von KI-Systemen im betrieblichen Alltag.

Ein Nutzungsszenario des Demonstrationszentrums **Living Lab “Hybride Arbeitssysteme”** wurde bspw. mit der Firma Cetex Institut gGmbH erprobt. In gemeinsamen Diskussionen im Labor **mobile Robotik** des **Living Labs** wurden spezifische Anwendungsszenarien mit Hinblick auf Sicherheit, Flexibilität, Produktivität und Qualifizierungsbedarfe für die Textilbranche erarbeitet.

Im Rahmen des KI-Transferforums an der Hochschule Mittweida konnten Betriebsräte von KMU alle Labore der Living Labs des Standortes besichtigen, Anwendungen praktisch erproben und mit Wissenschaftlern in den Austausch treten. Die Teilnehmenden diskutierten dabei konkrete Einsatzszenarien für ihre Betriebe, insbesondere im Hinblick auf Qualifizierung, Veränderung von Arbeitsinhalten sowie Mitbestimmungs- und Gestaltungsmöglichkeiten. Die Resonanz auf diese Form des Transfers war ausgesprochen positiv und ging mit dem klaren Wunsch einher, vergleichbare Formate auf weitere Schlüsselfiguren wie Fach- und Führungskräfte, Sicherheitsfachkräfte oder Personalverantwortliche auszuweiten. Gleichzeitig wurden Risiken deutlich herausgearbeitet, vor allem im Umgang mit datenbasierten, informatorischen Assistenzsystemen. Deren Nutzung als Qualifizierungs- und Schulungsplattform, etwa zur Vorbereitung auf komplexe Montagetätigkeiten, wurde zwar ausdrücklich begrüßt, jedoch auch auf die Gefahr einer langfristigen Tätigkeitsentleerung hingewiesen. Erfahrene Beschäftigte könnten eine subjektive Unterforderung und Bevormundung erleben, wenn Arbeitsschritte zu strikt vorstrukturiert werden (Warnhoff 2025).

Das in diesen Formaten gewonnene, konstruktiv-kritische Feedback von Betriebsräten und weiteren betrieblichen Schlüsselakteuren fließt unmittelbar in die arbeits-

wissenschaftliche Forschung ein. Es unterstützt eine stärker menschenzentrierte Gestaltung zukünftiger Arbeitssysteme und erhöht zugleich die Akzeptanz neuer Lösungen in KMU.

Als Plattform des entwickelnden Lernens und Lehrens stellen die **Learning Labs** eine Schlüsselfunktion innovativer didaktischer Methoden dar. Im Labor **Adaptive Manuelle Montage** erarbeiten Studenten in Praxisprojekten verschiedene adaptierbare Komponenten der Montage auf Basis des problembasierten Lernens (PBL) als zugrundeliegende didaktische Methode und geben damit regelmäßig neue Impulse für die Arbeitsforschung und Ausgestaltung der Living Labs. Eine Vielzahl verschiedener kooperativer Entwicklungsprojekte geben Studierenden außerdem die Möglichkeit, kooperativ innovative Lösungen sowie Inhalte für die Living und Learning Labs zu entwickeln und zu erproben.

4. Beitrag von Demonstrationszentren zum Erreichen von Zielgruppen

Die Demonstrationszentren tragen als regional sehr erfolgreiches Transfermedium zu einer Erhöhung der Technologieakzeptanz und Innovationsbereitschaft, einer Stärkung der regionalen Wertschöpfungsketten und einer nachhaltigen Kompetenzentwicklung im Kontext der Arbeit bei. Die Einblicke in die Innovationspotenziale bieten zudem Möglichkeiten, Strategien zur Fachkräftesicherung abzuleiten. Folgende Kernerkenntnisse können dabei nach vier Jahren Projektlaufzeit zusammengefasst werden:

- **Niedrigschwelliger Zugang ist entscheidend:** Demonstrationszentren senken Hemmschwellen gegenüber Digitalisierung und KI, insbesondere für KMU, indem sie Technologien praxisnah, neutral und erlebbar machen.
- **Erleben statt Erklären:** Hands-on-Formate wie in den Labs fördern Verständnis, Akzeptanz und Investitionsbereitschaft stärker als rein theoretische Informationsangebote. Erlebbarer, praktischer Mehrwert von Innovation hilft unter anderem bei der Entscheidungsfindung hinsichtlich technologischer Weiterentwicklung, Investitionen, Aus- und Weiterbildung.
- **Zielgruppenspezifische Formate wirken:** Unterschiedliche Zielgruppen benötigen angepasste Transfer- und Lernformate.
- **Menschenzentrierte Gestaltung erhöht Akzeptanz**: Arbeitswissenschaftlich fundierte, menschengerechte Technikgestaltung beugt Technikstress vor und steigert Usability, Produktivität und Akzeptanz.
- **Mobilität erweitert Reichweite:** Mobile Demonstrationszentren wie das **KI Mobil** ermöglichen den Transfer auch in ländliche Räume, sowie zu KMU und erreichen so auch neue Zielgruppen wie zum Beispiel Mitarbeitende des produzierenden Gewerbes.
- **Dialog schafft Vertrauen und Aktualität:** Austauschformate zwischen Forschung, KMU und Mitbestimmungsakteuren liefern für beide Seiten wertvolles Feedback und verbessern Lösungen iterativ.
- **Labs als dauerhafte Transferinfrastruktur:** Regionale Etablierung sowie kontinuierliche Weiterentwicklung, Vernetzung und Integration in Lehre, Weiterbildung und Forschung sichern nachhaltigen Wissenstransfer.

Anhand von good practice-Beispielen werden in den Demonstrationszentren konkrete Technologien, Methoden und Prozesse praxisnah präsentiert und können von den Zielgruppen ausprobiert werden. Die Living und Learning Labs sind dabei

auch virtuell verbunden und erlauben so Einblicke in die Demonstrationszentren der anderen Standorte, wodurch der interaktive Dialog mit den Präsentierenden möglich ist. Das offene Konzept der Labs dient als Schnittstelle zwischen Forschung, Praxis und Bildung und senkt so Barrieren, schafft Vertrauen, erleichtert Investitionsentscheidungen und sammelt darüber hinaus konkrete Anforderungen aus der Praxis. Dadurch können die Demonstrationszentren ständig an die sich ändernden Bedarfe angepasst werden. Inhalte können auf weitere Branchen, Unternehmensgrößen oder Qualifikationsniveaus zugeschnitten werden. Didaktische Konzepte, wie Gamification, VR/AR oder interaktive Lernumgebungen (Eckardt, Goldhahn 2025) sprechen unterschiedliche Lerntypen an. Durch erlebbares Lernen, interaktive Beteiligung und technische Unterstützung des Menschen im Arbeitsprozess tragen Demonstrationszentren entscheidend zur menschengerechten Digitalisierung von Arbeit und Arbeitssystemen bei. Sie sichern Fachkräfte durch praxisnahe Kompetenzentwicklung.

5. Literatur

Eckardt, R, Goldhahn L (2025): Gestaltungsansätze für eine lernförderliche User Experience virtueller Lernumgebungen im Living Lab „Hybride Arbeitssysteme“. In: GfA e. V. (Hrsg.): Arbeit 5.0: Menschzentrierte Innovationen für die Zukunft der Arbeit. Bericht zum 71. Arbeitswissenschaftlichen Kongress. Sankt Augustin: GfA Press. ISBN 978-3-936804-36-2, 1299–1304.

Goldhahn L (2023): Entwicklung hybrider Arbeitssysteme. In: Entwicklung hybrider Arbeitssysteme. Scientific Reports. Hochschule Mittweida, ISSN 1437-7624, Nr. 1, doi.org/10.48446/opus-14344, 1–5.

Goldhahn L, Merkel T (2023): Transfer@Forschung – neue Mission und arbeitsgestalterischer Beitrag zum Strukturwandel in Sachsen und Brandenburg. In: Borowski et al. (Hrsg.): Erfolgreicher Transfer in der Arbeitsgestaltung. Münster New York: Waxmann, doi.org/10.31244/9783830998082, 279–293.

Warnhoff K (2025): Arbeitsintegriertes Lernen in der Industrie 4.0 - Eine qualitative Analyse verschiedener Assistenzsysteme in der Montage. Industry 4.0 Science 2:22–29.

Hoppe A (2009): Technikstress - Theoretische Grundlagen, Praxisuntersuchungen und Handlungsregularien. Aachen: Shaker.

Web1: Entwicklungsstrategie Lausitz 2025. WRL Wirtschaftsregion Lausitz (Hrsg.), https://wirtschaftsregion-lausitz.de/wp-content/uploads/2021/01/ews-kurzfassung-de.pdf.

Web2: Neue Technologien entwickeln: Hightech Agenda Deutschland, https://www.bmftr.bund.de/DE/Technologie/HightechAgenda/HightechAgenda_node.html

Danksagung: Die Autoren danken dem BMFTR für die finanzielle Unterstützung sowie dem PTKA für die Betreuung des Forschungsprojektes „PerspektiveArbeit Lausitz (PAL)“, Förderkennzeichen 02L19C300 - 02L19C333. Die Verantwortung für diesen Beitrag liegt bei den Autoren.

Smarte Systeme in der Gefährdungsbeurteilung: Ein ganzheitlicher Ansatz für den betrieblichen Arbeits- und Gesundheitsschutz

Torsten MERKEL[1], Gabriele BURUCK[2], Alina PUHL[1], Patrick NAUSCH[2], Sandro FISCHER[1], Max GRÄßLER[1], Lion HEIMANN[2], Fabian DIETRICH[1]

[1] *Professur für Arbeitswissenschaft, Institut für Produktionstechnik*
Fakultät Automobil- und Maschinenbau
[2] *Professur für Gesundheitsförderung und Prävention, insbes. Betriebliches Gesundheitsmanagement, Fakultät Gesundheits- und Pflegewissenschaften*
Westsächsische Hochschule Zwickau
Am Kornmarkt 1, D-08056 Zwickau

Kurzfassung: Der Beitrag präsentiert einen innovativen Ansatz zur Unterstützung der Gefährdungsbeurteilung im betrieblichen Arbeits- und Gesundheitsschutz mittels kostengünstiger, smarter Systeme. Ein speziell zusammengestelltes Set aus Wearables und Sensoren erlaubt die objektive Erfassung von Vital- und Umgebungsdaten, reduziert die direkte Beobachtung der Mitarbeitenden und fördert die Akzeptanz durch eigenständige Bedienung. Die anonymisierte, grafische Aufbereitung der Messdaten in einem Dashboard unterstützt die Entscheidungsfindung und ermöglicht eine gezielte Wirksamkeitskontrolle von Maßnahmen. Der Ansatz verbessert die Qualität der Gefährdungsbeurteilung, stärkt die Eigenverantwortung und erhöht die Wirksamkeit der Maßnahmenumsetzung, insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen.

Schlüsselwörter: Smarte Systeme, Gefährdungsbeurteilung, Arbeits- und Gesundheitsschutz, Wearables, Wirksamkeitskontrolle, Digitalisierung, KMU

1. Einführung

Gesundheit und Arbeitsfähigkeit der Beschäftigten sind zentrale Voraussetzungen für Motivation, Planbarkeit und nachhaltige Leistungsfähigkeit von Unternehmen. Dieser Beitrag stellt die von einem interdisziplinären Team der Westsächsischen Hochschule Zwickau (WHZ) erarbeiteten innovative Ansätze vor, wie smarte Systeme die Gefährdungsbeurteilung im betrieblichen Kontext unterstützen können – insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU).

Ein eigens zusammengestelltes Set smarter Messgeräte wurde hinsichtlich seiner Praxistauglichkeit evaluiert. Zum Einsatz kommen dabei Wearables zur Erfassung belastungsbedingter Veränderungen von Vitaldaten, Sensoren zur Aufzeichnung von Arbeitsumgebungsdaten sowie weitere digitale Hilfsmittel zur objektiven Beurteilung von Arbeitsanforderungen (Dietrich et al. 2026).

Die eingesetzte Messtechnik ermöglicht eine Reduktion der direkten Beobachtung von Mitarbeitenden und erlaubt durch Trendanalysen den Einsatz kostengünstiger Geräte. Gleichzeitig können mehrere Personen parallel in die Analyse einbezogen

werden. Die Bedienung der personenbezogenen Wearables durch die Nutzer selbst fördert die Akzeptanz und Eigenverantwortung.

Die erhobenen Daten werden anonymisiert und grafisch aufbereitet in einem Dashboard zur Entscheidungsunterstützung bereitgestellt. Wiederholte Analysen ermöglichen eine gezielte Wirksamkeitskontrolle getroffener Maßnahmen, etwa nach der Investition in neue Technologien.

2. Konzept eines interdisziplinären Handlungsmodells

Das Konzept verfolgt eine praxisorientierte Methodik zum Einsatz smarter Messsysteme für die Durchführung orientierender und trendbasierter Gefährdungsbeurteilungen in kleinen und mittleren Unternehmen. Der Fokus liegt dabei auf der eigenständigen Anwendung durch betriebsinterne Akteure mit nachgelagerter Unterstützung durch Experten aus den Bereichen Arbeitswissenschaft oder Arbeitsmedizin nach Bedarf.

Die Ergebnisse dieser Trendstudien erlauben eine Priorisierung von Handlungsbedarfen oder Bestätigen einer den Anforderungen angemessene arbeitsgestalterische Lösung. Das Konzept endet dabei nicht mit der trendbasierten Situationsbeurteilung. Es bietet mit einer digitalen, kontextorientierten Variante auf Basis des INQA-Wissensspeichers „SGA-Screening Gesundes Arbeiten“ (Web1) konkrete Gestaltungs- und Handlungsempfehlungen. Weitere Elemente des Konzeptes sind ein Maßnahmen-Pool, welcher die Einbindung externer Fachkräfte in den Bereichen Arbeitsgestaltung, Technik, Gesundheit, Training und Coaching vorsieht. Mit der Aufbereitung des internen Wissens in einer Lernplattform mit KI-gestützten individuellen Lernpfaden steht ein weiteres Element zum Erhalt des innerbetrieblichen Fach- und Erfahrungs-Wissens zur Verfügung. Daraus ergibt sich ein ganzheitliches Konzept von der Erfassung von Handlungsbedarfen hin zu Lösungsvorschlägen sowie Weiterbildungsmöglichkeiten hinsichtlich der Problemlagen für alle Betroffenen.

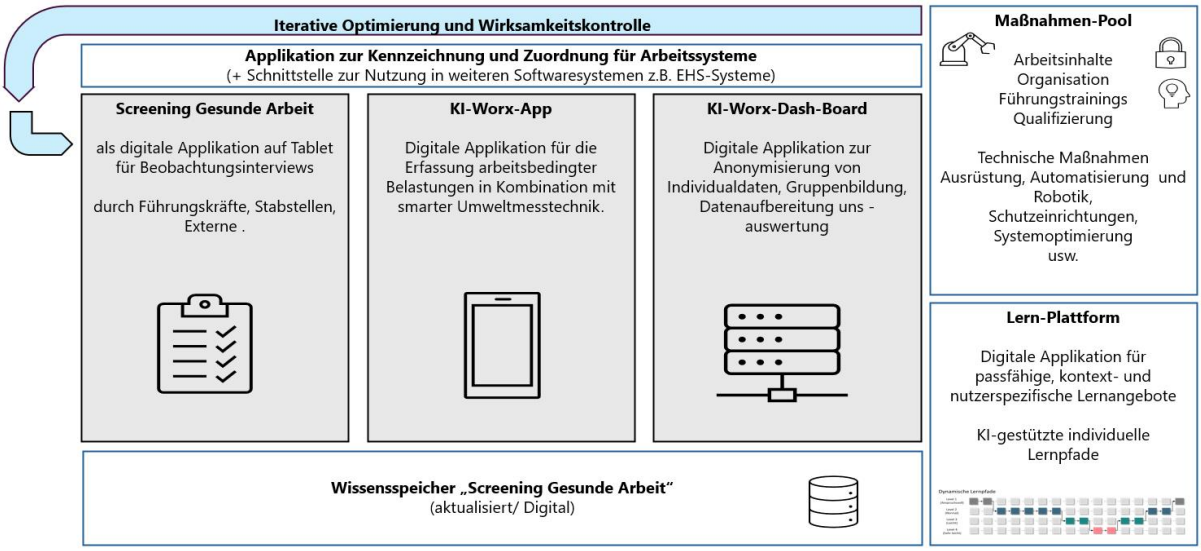


***Abbildung 1**: Interdisziplinäres Handlungsmodell KI-Works der Arbeitsgruppe an der Westsächsischen Hochschule Zwickau.*

Sowohl in der Mess- als auch in der Rechentechnik werden ausschließlich Produkte aus dem Consumer-Segment eingesetzt. Dieser Ansatz ermöglicht eine Reduktion der Investitionskosten für die Unternehmen und gewährleistet zugleich eine hohe Skalierbarkeit der Ausstattung, sodass ein paralleler Einsatz in mehreren Arbeitsbereichen bzw. über einen beliebigen Zeitraum hinweg realisierbar ist. Die verwendeten Endgeräte zeichnen sich ebenso wie die entwickelten Nutzeroberflächen durch eine intuitive Bedienbarkeit aus und erlauben grundsätzlich eine zeitlich unbegrenzte Analyse der Belastungssituation auch durch fachlich nicht speziell geschulte Mitarbeitende in den zu betrachtenden Arbeitsumgebungen.

Neben der Entwicklung geeigneter Auswertealgorithmen wurden Aspekte der Benutzerfreundlichkeit, der Schnittstellengestaltung, der Datenqualität sowie die Zusammenführung von Messdaten aus unterschiedlichen Quellen berücksichtigt werden, wobei auf die Nutzung herstellerspezifischer Cloud-Lösungen verzichtet wurde um einen möglichst hohen Grad an Datenschutz, Datensicherheit und Datensouveränität zu gewährleisten. In der aktuellen Ausbaustufe können die Endergebnisse mittels Export-Funktion an andere Software-Systeme, wie z.B. EHS-Software (Environment Health & Safety) transferiert und dort weitergenutzt werden.

Das Konzept versteht sich als Basisbaustein für eine Beurteilung von Arbeitssystemen und soll die Anforderungsdefinition an mögliche Serviceleistungen im Bereich des Arbeitsschutzes bzw. des betrieblichen Gesundheitsmanagements besser herausarbeiten und klar definieren. Es geht also nicht darum etablierte Verfahren und anspruchsvolle Messtechnik zu ersetzen. Stattdessen wird ein Ansatz zur Sensibilisierung besonders belastender Tätigkeitsfelder und Fokussierung auf die drängendsten Lösungen angestrebt. Weiterhin sollen vor allem kleinere Unternehmen dazu motiviert und befähigt werden, die Optimierung von Arbeitsbedingungen aktiv zu betreiben und bestenfalls präventiv Maßnahmen zu ergreifen.

3. Validierung

Nach einer ersten Auswahl der smarten Messtechnik sowie dem Entwurf einer App zur Messdatenaufzeichnung erfolgten Funktionstest und die Validierung der Geräte in einem Büro- bzw. Laborversuch mit physischen, psychischen und kombinierten Belastungselementen.

Nach erfolgreichem Abschluss einer ersten Serie von Pre-Tests konnten durch Messreihen im Arbeitsalltag von Service-Personal, Remote-Service Arbeitsplätzen, in der Montage, der Logistik, Entwicklungsabteilungen, dem Industrial Engineering. Die Ergebnisse dieser Reihenversuche halfen, das Gesamtkonzept zu verfeinern und die Software hinsichtlich Usability und optimierter Auswertbarkeit der Daten weiterzuentwickeln. Sowohl die Applikation zur Aufzeichnung der Vitaldaten als auch das Dashboard für die Gesamtauswertung wurden dabei iterativ mehrfach überarbeitet.

Für die juristische Prüfung des Gesamtkonzeptes unter Einhaltung von Datenschutz und -sicherheit wurde eine Kanzlei beauftragt, deren Empfehlungen in eine eigene Dokumentation und Handlungsanleitung übertragen wurden.

Aktuell konnten zwei neue Unternehmen als Evaluierungspartner für das Gesamtkonzept des interdisziplinären Handlungsmodells einer smart gestützten Gefährdungsbeurteilung gewonnen werden.

4. Fazit

Nach Einschätzung des Projektteams tragen die gekoppelten smarte Systeme dazu bei, die Qualität der Gefährdungsbeurteilung, die Eigenverantwortung der Beschäftigten und die Wirksamkeit der Maßnahmenumsetzung im Arbeits- und Gesundheitsschutz nachhaltig zu verbessern.

Die zum Einsatz kommenden smarten Sensorlösungen zur Umweltanalytik sowie zur Erfassung von Vitaldaten, gekoppelt mit eigens entwickelter Aufzeichnungs- und Auswertesoftware bieten gegenüber klassischer Messtechnik folgende Vorteile:

- Intuitive Bedienbarkeit – auch von nicht-technischem Personal ohne nennenswerte arbeitswissenschaftliche oder arbeitsmedizinische Vorkenntnisse nutzbar
- Hohe Mobilität – flexibel einsetzbar in verschiedenen Arbeitsbereichen, gleichzeitig oder nacheinander
- Langzeitmessungen – kontinuierliche Erfassung über beliebig lange Zeiträume zur Erfassung aller eventuell vorhandenen Überlastungslagen während der Arbeitstätigkeit
- Fernüberwachung – ortsunabhängiger Zugriff auf Messdaten durch autorisierte Mitarbeitende, bspw. der betrieblichen Fachkraft für Arbeitssicherheit oder externen Experten
- Datenintegration – Zusammenführung unterschiedlicher Datenquellen zur ganzheitlichen Bewertung

Die bisher an den Versuchen beteiligten Probanden und Mitarbeitenden haben das Konzept durchgehend positiv bewertet und konnten wertvolle Hinweise zur iterativen technischen Weiterentwicklung der Softwarelösungen liefern.

Ein Nutzen für den Arbeitsschutz ergibt sich durch eine niederschwellige, ressourcenschonende und dynamische Gefährdungsbeurteilung, welche insbesondere für KMU einen realistischen Einstieg in datengestützten Arbeitsschutz bietet. Sie schafft Transparenz über Belastungstrends und unterstützt präventive Maßnahmen.

5. Literatur

Shiri R, Bergbom B. (2023): Work Ability and Well-Being Management and Its Barriers and Facilitators in Multinational Organizations: A Scoping Review. Healthcare (Basel). doi: 10.3390/healthcare11070978. PMID: 37046905; PMCID: PMC10094079.

Dietrich F, Liebl S, Löffler M, Merkel T (2026): Wearables as an easy, cost- effective and smart measurement tool for work system evaluation. In Modern Technologies in Ergonomics and Workplace Safety, Routledge Tylor & Francis Group. ISBN 9781041136170

Web1: Der Leidfaden zum Screening Gesundes Arbeiten (SGA). inQa.de (Hrsg.), https://tu-dresden.de/mn/psychologie/iaosp/wop/ressourcen/dateien/angebote_praxis/dateien/sga-aktuelle-inqua.pdf?lang=de.

.

Wie Personalentwicklung auf die Technikakzeptanz wirkt: Verstetigungspotenziale im digitalen Wandel erkennen und gestalten

Claudia GRAF-PFOHL, Simon FRONCZEK, Lisa-Marie WINKLER

ATB Arbeit, Technik und Bildung gGmbH
Neefestraße 76, D-09119 Chemnitz

Kurzfassung: Die größte Herausforderung von digitaler Transformation wird in ihrer Verstetigung in bestehenden Routinen, Strukturen und Rollen gesehen. In diesem Beitrag wird das Potenzial von Personalverantwortlichen bei der Einführung von Assistenzsystemen im Betrieb untersucht, die Einfluss auf die dauerhafte Verankerung haben. Ausgehend von einem Long-Term Governance-Framework werden zwei Fallstudien mit KMU analysiert, in denen Anforderungen im Einführungsprozess digitaler Lernlösungen für die betriebliche Weiterbildung analysiert wurden. Die Ergebnisse zeigen, welche Strategien von den Personalverantwortlichen genutzt werden können, um im laufenden Betrieb Anforderungen der Technologieeinführung zu adressieren und zu verstetigen.

Schlüsselwörter: Verstetigung, Technikimplementierung, organisationale Transformation, Personalentwicklung, Organisationsroutinen

1. Ausgangspunkt: Herausforderungen der Verstetigung

Die größten Herausforderungen für die Technikimplementierung liegen häufig nicht in der Technologie selbst, sondern in der Integration in bestehende Arbeitsabläufe und der Sicherstellung der Mitarbeitendenakzeptanz (Armutat et al. 2025; Jung & von Garrel 2021). Empirische Studien zeigen, dass es viele Hürden und Herausforderungen für eine langfristige Nutzung neuer und betriebsspezifisch entwickelter Digitalisierungsprojekte rund um Künstliche Intelligenz gibt. Beispielsweise wird in Bezug auf Assistenzsysteme am Arbeitsplatz die frühzeitige Einbindung verschiedener Funktionsträger:innen im Unternehmen (Mitarbeitende, Führungskräfte, Datenschutzverantwortliche, Betriebsräte usw.), die Sicherstellung der Datenqualität und -quantität für das Training von KI-Modellen, der Aufbau von technologischer Kompetenz im Personalbereich, die Gewährleistung von Akzeptanz und Transparenz sowie die Erfüllung gesetzlicher Anforderungen in Bezug auf Datenschutz und Arbeitsrecht als Gelingenskriterien im Einführungsprozess genannt (Cost Reyes 2024; Gerlmaier et al. 2024; Orth et al. 2023; Pfeiffer 2020).

Für die Verankerung und Nachnutzung von Erkenntnissen aus Entwicklungsprojekten werden verschiedene Begrifflichkeiten wie Nachhaltigkeit, Verstetigung, Transfer genutzt (Hochbauer et al. 2023). Mit Verankerung oder Verstetigung ist im Rahmen dieses Beitrages die langfristige Einbettung der neuen Technologie in bestehende organisationale Routinen, Rollen- und Verant-wortungsstrukturen gemeint, sodass sie nicht als einmaliges Projekt, sondern als regulärer Bestandteil der Arbeitsorganisation erhalten bleibt.

In bisherigen KI-Implementationsmodellen aus der Arbeitsgestaltung wird Verstetigung häufig prozessual gedacht und in einzelnen Schritten des Einführungsprozesses

verankert (Stowasser 2025; Gröllich et al. 2023). KI-Implementationgsmodelle der Arbeitswissenschaft nehmen darauf Bezug, indem sie die Partizipation der Mitarbeitenden, ein iteratives Entwickeln und Prüfen des Vorhabens sowie den Abgleich verschiedener soziotechnischer Anforderungen unterstützen (Stowasser 2025; Gröllich et al. 2023). Viele Modelle integrieren auch Reflexions- oder Evaluationsphasen im digitalen Transformationsprozess (Armutat et al. 2025). Technikakzeptanzkonzepte erfassen primär individuelle Einstellungen, Erwartungen und Nutzungsintentionen gegenüber digitalen Systemen (Shachak et al. 2019). Für die Verstetigung von digitalen Transformationsprojekten reicht dies jedoch nicht aus: Langfristige Nutzung setzt voraus, dass digitale Lösungen langfristig in organisationalen Routinen, Rollen- und Verantwortungsstrukturen sowie Governance-Arrangements verankert werden. Geprüft werden muss, wie die Verstetigung der neuen Technologien von den vorhandenen organisationalen Routinen, Rollen- und Verantwortungsstrukturen her gedacht werden können. Unklar ist jedoch,

- wie Verstetigung nach Abschluss des Einführungsprozesses organisational gefasst werden kann,
- wie neue Technologien in vorhandene Prozesse und Strukturen überführt werden können und
- inwieweit vorhandene Prozesse und Strukturen mit der Komplexität neuer Technologien mithalten können.

Insbesondere Personalverantwortliche nehmen hier eine Brückenfunktion ein, indem sie sowohl auf die Determinanten individueller Akzeptanz (z. B. Kompetenzaufbau, wahrgenommene Nützlichkeit, Lernkultur) als auch auf strukturbezogene Bedingungen der Verstetigung (z. B. Pflegeprozesse, Ressourcen-sicherung, Integration in HR- und IT-Strukturen) einwirken (Ohly et al. 2025; Franken & Wattenberg 2019; Franken et al. 2022).

2. Verstetigungspotentiale unter der Governance-Brille

Um aufzuzeigen, wie sich Prozesse im Unternehmen verändern müssen, um neue Technologie dauerhaft im Unternehmen zu halten bedienen wir uns einer organisationalen Governance-Brille (Ohly et al. 2025; Franken & Wattenberg 2019). Organisationale Governance kann als formelle und informelle Regeln und Prozeduren innerhalb eines Unternehmens gesehen werden und beinhalten Autoritäts- und Entscheidungsarrangements aller relevanter Akteur:innen (Klein et al. 2019; Tihanyi et al. 2014). Dabei wird nicht nur Unternehmenseigentümern und Führungskräften sondern auch den Mitarbeitenden Handlungsfähigkeit zugesprochen (McCall 2001). Das ursprünglich für politische Strategieentwicklung erschaffene Framework der *long-term Governance* (LTG) bietet für die Perspektive auf Verstetigung einen geeigneten Analyserahmen (Scheer et al. 2025), der aufzeigt, welche formellen und informellen Prozesse und Praktiken das kollektive Handeln von Akteur:innen ermöglicht oder restringiert (Nye & Donahue 2000), um insbesondere komplexen, multifaktoriellen Problemfeldern mit unvorhersehbaren Folgen, etwa in Change-Projekten wie E-Mobilität oder Nuklearenergie, zu begegnen. Aus Sicht von kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) ist die Einführung eines Assistenzsystems ebenfalls durch einen „komplexen und ungewissen Charakter, ihr Potenzial für schwerwiegende Folgen und die anspruchsvollen Lösungswege“ charakterisiert (Scheer et al. 2025, Diedrich 2025), das in die organisationale Governance in Form von informellen und formellen Nutzungs- und Akzep-

tanzregeln, Arbeitsroutinen und Führungsverhalten tiefgreifend eingreifen kann (Protschky et al. 2024).

Vier zentrale Strategien von LTG für eine langfristige Steuerung komplexer Transformationsprozesse werden beschrieben (Scheer et al. 2025):

(1) Reflecting: beinhaltet Rückkoppelungen und Einflüsse, die selbst wieder Einfluss auf die vorhandenen Prozesse nehmen. Hierzu sollten auch unbeabsichtigte Folgen und wechselnde Umweltfaktoren einbezogen werden.

(2) Preparing: Die Unvorhersehbarkeit von komplexen Umsetzungsprojekten erfordert die strategische Vorbereitung durch Vorwegnahme, „futuring techniques" sowie die Iteration des Umsetzungsvorhabens. Hierfür werden *Arenen* genutzt, zukünftige Entwicklungen und Problemstellungen zu diskutieren und zu entscheiden, was durch ein dauerhaftes Monitoring sowie ein Rückkopplungssystem zur Bewertung der Leistungsfähigkeit und des inkorporierten, institutionellen Wissens (z.B. der Mitarbeitenden im Unternehmen) unterstützt wird. Voraussetzung hierfür ist die Verankerung entsprechender Prozesse, Regeln und Methoden im Unternehmen, was Preparing zum „fundamentalen Erfolgsfaktor für *long-term Governance*" macht (Scheer et al. 2025).

(3) Navigating: bezeichnet die richtige Interpretation und das flexible Nutzen von effizienten Pfaden entlang wechselnder (Umwelt-)Bedingungen. Folge ist die konstante Aufrechterhaltung von Handlungsfähigkeit (Agency) sowie von Handlungsspielräumen in Arenen zwischen Stabilität und Wandel. Voraussetzung hierfür sind ausreichende Informationen, Infrastruktur, Konfliktmanagement, Einhaltung von Regeln sowie Wandlungsbereitschaft.

(4) Experimenting: meint die Einbeziehung verschiedener Standpunkte für den Gesamtüberblick sowie das Einwerben von Legitimation, indem Wissen bereitgestellt oder Partikularinteressen einbezogen werden. Teil des *Experimenting* ist die Bereitschaft zur Mitgestaltung im Transformationsprozess, die gleichzeitig das Mittragen von Entscheidungen im Wandel signalisieren. Hierzu gehören auch Erprobungsszenarien in Reallaboren, in denen Settings konkret analysiert werden können.

3. Methodik: Fallstudien in zwei KMU

Die Studie basiert auf einem Mixed-Method-Design im Sinne der Action Research (Chevalier & Buckles 2019) und wurde im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojekts mit zwei KMU durchgeführt. Ziel war es, Anforderungen an die digitalisierte betriebliche Weiterbildung an verschiedene Funktionsrollen wie Personalverantwortliche zu identifizieren und gleichzeitig den Einführungsprozess digitaler Lernlösungen als reflexiven Lern- und Veränderungsprozess zu gestalten (Graf-Pfohl et al. 2025; Dehnbostel, 2021).

Datengrundlage bildeten qualitative Erhebungen zwischen September 2023 und März 2024, darunter Interviews mit Mitarbeitenden und Führungskräften, Prozessdokumente, Schulungsunterlagen, Beobachtungsprotokolle und leitfadengestützte Gespräche mit externen Multiplikator:innen (Flick 2006; Witzel 2000). Die inhaltsanalytische Auswertung erfolgte auf Basis eines forschungsleitenden Kriterienkatalogs (Mayring 2015), aus dem ein strukturierter Anforderungskatalog mit 83 Hauptkategorien und 338 Einzelanforderungen abgeleitet wurde (Graf-Pfohl et al. 2025). Diese Anforderungen wurden in Clustern zusammengefasst (u.a. Adaptivität, Betriebliche Integration, Datenmanagement, Ergonomie, Lernförderlichkeit, Partizipation). Anschließend

erfolgte ein Mapping der Anforderungen zur Einführung von Assistenzsystemen auf die vier LTG-Strategien (Scheer et al. 2025).

4. Ergebnisse: Verstetigung von Assistenzsystemen durch LTG in der organisationalen Governance

Als Ergebnis zeigt sich, welche dieser Anforderungen mit den vier LTG-Kernstrategien in Verbindung gebracht werden können, Dies gibt Akteur:innen wie Personalverantwortlichen wiederum die Chance, vorhandene Ressourcen nutzbar zu machen, um notwendige Anforderungen des Assistenzsystems in vorhandenen Prozessen, Routinen und üblichen Handlungsweisen des Unternehmens zu prüfen, zu verhandeln und zu gestalten. Die Anforderungen (s.o.) lassen sich den vier LTG-Strategien zuordnen, wodurch spezifische Anforderungsdichten je nach Strategie entstehen (siehe Abbildung 1). D.h. bestimmte unternehmensspezifische Strategien sind viel eher dazu geeignet, zur Verstetigung eines neuen Assistenzsystems innerhalb der betrieblichen Prozesse und Routinen beizutragen.

(1) Über **Reflecting** sollten vorrangig Anforderungen bearbeitet werden, die auf das kontinuierliche Sichtbarmachen, Prüfen und Justieren von Zielen, Kompetenzen und Prozessen zielen, etwa das Monitoring von Entwicklungsmaßnahmen und Kompetenzprofilen, die laufende Aktualisierung von Dokumenten sowie eine lernförderliche Aufbereitung und Dokumentation von Schulungsinhalten einschließlich regelmäßiger Leistungseinschätzungen. **Beispielsweise** wird die Verzahnung von Wissen, Erfahrung und Prozessen regelmäßig geprüft. Die Passung von Formaten, Inhalten und Tools wird so stets angepasst, sodass diese das Lernökosystem unterstützen und fortentwickeln.

(2) **Preparing** bündelt Anforderungen vorausschauender Planung, Iteration und des Antizipierens künftiger Kompetenz- und Prozessbedarfe. Beispielhaft umfassen diese Anforderungen abteilungsübergreifendes On- und Offboarding, die Berücksichtigung künftiger Kompetenzbedarfe in Lernpfaden, Erinnerungs-funktionen für Auffrischungsschulungen und die frühzeitige Mitplanung von Pflegeprozessen digitaler Lernlösungen. **Beispielsweise** sind an verschiedenen Schnittpunkten zwischen Technologie und Organisation vorausschauende Planungen sinnvoll, um Weiterbildungsbudgets, vorhandene Lerntools und Bedarfe miteinander zu verzahnen.

(3) **Navigating** eignet sich für Anforderungen, die die Anpassungsfähigkeit und Robustheit von Strukturen, Ressourcen und Infrastrukturen sichern sollen. Dazu zählen insbesondere struktur- und infrastrukturbezogene Aspekte wie die Anpassungsfähigkeit digitaler Lernlösungen an betriebs- und personalspezifische Lernpfade, die Integration externer Inhalte, Barrierefreiheit, die Einbettung in bestehende IT- und HR-Strukturen inklusive Datenschutz und Datensicherheit sowie die ressourcenbezogene Absicherung von Nutzung und Pflege. **Beispielsweise** wird durch das Aufzeigen von qualifikationsgebundenen Entwicklungspfaden eines adaptiven Lernmanagementsystemes sichergestellt, dass Mitarbeitende im Unternehmen eine Perspektive erkennen und ergreifen, was Unsicherheiten für Personalentwickler reduzieren kann.

(4) **Experimenting** adressiert Anforderungen, die Beteiligung, Erprobung, Wissensaustausch und Lernkultur stärken und so die Mitgestaltung des Transformationsprozesses ermöglichen. Dazu zählen u. a. die systematische Nutzung von Erfahrungswissen, die Unterstützung von Wissensweitergabe und Regelaustauschen,

eine betriebliche Lernkultur, Selbststudium und Selbstschulungen, partizipative Weiterentwicklung der Systeme, Feedback- und Vorschlagskanäle sowie die Einbindung von Mitarbeitendenvertretungen. **Beispielsweise** werden neue Schulungsinhalte oder -formate im Regelmeeting besprochen, um Raum für neue Formate und Methoden zu schaffen, mit welchen das Lernen im Unternehmen an veränderte Bedarfe am Arbeitsplatz angepasst werden kann.

5. Diskussion

Die Zuordnung zeigt eine hohe Anforderungsdichte insbesondere in den Strategien *Navigating* und *Experimenting*; diese sind zentrale Hebel, um Assistenzsysteme dauerhaft zu verankern und berühren typische Handlungsfelder der Personalentwicklung (Gestaltung von Prozessen, Routinen, Beteiligung, Lernkultur).

Vorteile der Übertragung der LTG-Strategien durch Führungskräfte auf KI-Einführungsprozesse liegen zunächst darin, dass diese dabei helfen können, mögliche Zukünfte zu antizipieren, Unsicherheitsräume zu verkleinern und Spielräume sichtbar zu machen. Zudem ermöglicht das Aufgreifen von Prozessfortschritten in Regelmeetings die direkte Einbindung relevanter Akteur:innen, verankert Change-Prozesse greifbar im Arbeitsalltag und langfristige Wirkungen der Technologieeinführung frühzeitig sichtbar und damit gestaltbar zu machen. Als Nachteile lassen sich konstatieren, dass die Übertragung der LTG-Strategien auf die unternehmerische Praxis bisher noch nicht erprobt ist, parallel verlaufende Veränderungsprozesse sich überlagern oder konterkarieren könnten.

Als Ergebnis wurde herausgearbeitet, welche Strategien von den Personalverantwortlichen genutzt werden können, um im laufenden Betrieb Anforderungen der Technologieeinführung zu adressieren und zu verankern.

6. Literatur

Armutat S, Wattenberg M, Mauritz N (2025) Implementationsmodell zur Integration von Mitarbeitenden in strategische Digitalisierungsprojekte im Kontext von KI.

Chevalier JM, Buckles D (2019) Participatory action research: Theory and methods for engaged inquiry (Second edition). Routledge, Taylor & Francis Group.

Cost Reyes C, Ottersböck N, Prange C, Discher A, Peters S, Dander H (2024) Technical and Socio-Technical Success Factors of AI-Based Knowledge Management Projects. 15th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2024).

Dehnbostel P (2021) Digitales Lernen, digitale Kompetenzen und digitale Bildung in der transformierten Arbeitswelt. In P Dehnbostel, G Richter, T Schröder, A Tisch (Hrsg.), Kompetenzentwicklung in der digitalen Arbeitswelt: Zukünftige Anforderungen und berufliche Lernchancen. Schäffer-Poeschel Verlag.

Diedrich JH (2025) Schlüsselstrategien für eine erfolgreiche KI-Implementierung. Maschinenbau, 5(2), 16–19.

Flick U (2006) Qualitative Forschung. Konzepte, Methoden, Umsetzung (12. Auflage). Rowohlt Taschenbuch Verlag.

Franken S, Prädikow L, Mauritz N (2022) Künstliche Intelligenz in Der Personalbeschaffung - Chancen, Herausforderungen Und Handlungsempfehlungen.

Franken S, Wattenberg M (2019) The Impact of AI on Employment and Organisation in the Industrial Working Environment of the Future. In Griffiths P, Nowshade Kabir M (Ed.) Proceedings of the 1st European Conference on the Impact of Artificial Intelligence and Robotics (ECIAIR19) (pp. 141–148). Reading.

Gerlmaier A, Bendel A, Ossenberg M (2024) Humanzentrierte Gestaltung von digitalen Assistenzsystemen für Menschen mit Behinderung: Erprobung und Evaluation des Workshopprogramms „friendlyAI@work“. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 78(2), 132–145.

Graf-Pfohl C, Böhme C, Schneider D (2025) Lost in Digital Transformation: Finding the Golden Thread. Two Approaches Empowering Resource-Constrained Organizations. Proceedings of the Mensch und Computer 2025, 668–672.

Gröllich D, Hahmann M, Ott G, Graf-Pfohl C (2023) Vorgehensweise zur Implementation von datenbasierten Assistenzsystemen. Scientific Reports 1–2023, Mittweida. ISSN 1437-7624.

Hochbauer M, Buntins K, Zaviska, C (2023) Verstetigung der Produkte aus Förderprojekten. Empirische Untersuchung von Gelingensbedingungen und Hinderungsgründen. Ein Dossier im Rahmen des Innovationswettbewerbs INVITE. In mmb Institut – Gesellschaft für Medien- und Kompetenzforschung mbH (Hrsg.), Essen: Mmb Institut GmbH 2023 (S. 32 pages). mmb Institut GmbH: Essen.

Jung M, Von Garrel J (2021) Mitarbeiterfreundliche Implementierung von KI -Systemen im Hinblick auf Akzeptanz und Vertrauen: Erarbeitung eines Forschungsmodells auf Basis einer qualitativen Analyse. TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis, 30(3), 37–43.

Klein PG, Mahoney JT, McGahan AM, Pitelis CN (2019) Organizational governance adaptation: Who is in, who is out, and who gets what.In: Academy of management review 44.1 (2019): 6-27.

Mayring P (2015) Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken (12., überarbeitete Auflage). Beltz Verlag.

McCall JJ (2001). Employee voice in corporate governance: A defense of strong participation rights. *Business Ethics Quarterly,* 195-213.

Nye JS, Donahue JD (2000). Governance in a globalizing world. Visions of Governance for the 21st Century Brookings Institution Press.

Ohly S, Granica A, Herwig H, Kühlewind N, Paetzold T, Vinhoven L, Wiemers L, Zhang X (2025) Humane work design: How does the digitization of work change core work characteristics in different occupations? Zeitschrift Für Arbeitswissenschaft, 79(4), 569–580.

Orth R, Singer-Coudoux K, Peschl M (2023) KI-unterstützte Weiterbildungskonzepte für den Mittelstand: Strategische und operative Integration der Kompetenzentwicklung am Fallbeispiel eines produzierenden Unternehmens. Zeitschrift Für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 118(10), 665–669.

Pfeiffer S (2020) Kontext und KI: Zum Potenzial der Beschäftigten für Künstliche Intelligenz und Machine-Learning. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, *57*(3), 465–479.

Protschky D, Schüll M, Urbach N (2024) Governance von künstlicher Intelligenz – Eine Methode zur Transformation vorhandener Governance-Mechanismen in Unternehmen. Wirtschaftsinformatik & Management, 16(3–4), 194–201.

Scheer D, Venghaus S, Sardo S, Stark S, Kuppler S, Schmidt MW, Hoyer-Klick C (2025) No easy way out: Towards a framework concept of long-term governance. Energy, Sustainability and Society, 15(1), 9.

Shachak A, Kuziemsky C, Petersen C (2019) Beyond TAM and UTAUT: Future directions for HIT implementation research. Journal of Biomedical Informatics, 100, 103315.

Stowasser S (2025) Frameworks for the Structural Integration of Artificial Intelligence – Comparing organizational approaches. Industry 4.0 Science, 144-151.

Tihanyi L, Graffin S., George G. (2014) Rethinking governance in management research. Academy of Management journal 57.6, 1535-1543.

Wienbruch T, Leineweber S, Kreimeier D, Kuhlenkötter B (2018) Evolution of SMEs towards Industrie 4.0 through a scenario based learning factory training. Procedia Manufacturing, 23, 141–146.

Witzel A (2000) The Problem-centered Interview. Forum: Qualitative Social Research, Vol 1, Methodical and Empirical Examples.

Danksagung: Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR), Förderrichtlinie „Zukunft der Arbeit: Regionale Kompetenzzentren der Arbeitsforschung. Erste Wettbewerbsrunde: Gestaltung neuer Arbeitsformen durch Künstliche Intelligenz“ im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ (Förderkennzeichen: 02L19C306) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Publikation liegt bei den Autor:innen.

Kontexte, Bedingungsgefüge und Ermöglichungen einer menschengerechten Arbeitsgestaltung

Oliver STRÄTER[1], Bruno ZWINGMANN[2]

[1]Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel
Heinrich-Plett-Strasse 40, D-34132 Kassel
[2] ehem. WSI des DGB, DGB-Bundesvorstand
Bundesarbeitsgemeinschaft für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (Basi)
und Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS)

Kurzfassung: Der Begriff „menschengerechte Arbeitsgestaltung“ ist im Jahr 2026 seit 30 Jahren im Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) verankert (Bundesgesetzblatt 1996). Als Resultat des Programms der Humanisierung hat die Novelle der Arbeitsschutzgesetzes die Ergebnisse des Programms gesetzlich abgesichert. In der heutigen Arbeitswelt ist die Berücksichtigung dieses Begriffes in der Arbeitsgestaltung wichtiger als je. Der Beitrag zeigt auf, welche Ziele und Rahmenbedingungen zur Entstehung des Konzeptes der menschengerechten Arbeitsgestaltung führten, warum diese Forderung trotz Verankerung im Arbeitsschutzgesetz oft nicht umgesetzt wird und welche Lösungsmöglichkeiten zur Umsetzung und Weiterentwicklung des Konzepts bestehen. Der Beitrag geht zurück auf Aktivitäten der Arbeitsgemeinschaft menschengerechte Arbeitsgestaltung, insbesondere auf den A+A Kongress 2023, bei dem die Gesellschaft für Arbeitswissenschaft gemeinsam mit dem BMAS das Thema der Basisarbeit beleuchtete und einen Workshop zur menschengerechten Arbeitsgestaltung ausrichtete.

Schlüsselwörter: Menschengerechte Arbeitsgestaltung, Beurteilung der Arbeitsbedingungen, Gefährdungsbeurteilung, Arbeitsschutzgesetz, proaktive Arbeitsgestaltung, Safety-Scanning

1. Einleitung

Im August 1996 hielt der Begriff „menschengerechte Arbeitsgestaltung“ Einzug in das Arbeitsschutzgesetz. Seit nunmehr 30 Jahren ist es demnach eine gesetzliche Anforderung, Arbeit menschengerecht zu gestalten. Demgegenüber stehen vielfältige Herausforderungen an die aktuelle Arbeitsgestaltung, bei denen oft das Kriterium der menschengerechten Arbeitsgestaltung in den Hintergrund rückt. Die wirtschaftliche Lage und die geopolitische Transformation fordern diesen Anspruch des Arbeitsschutzgesetzes derzeit heraus. Digitalisierung, insbesondere Künstliche Intelligenz sowie die Forderung von Wirtschaftsverbänden nach längerer Arbeitszeit und längerer Lebensarbeitszeit zeigen, dass derzeit andere Aspekte als die einer menschengerechten Gestaltung vorherrschen.

Auf der anderen Seite ist der Begriff nicht ohne Grund und wohlüberlegt in den Gesetzestext gelangt. Die rechtlich verbindliche Forderung nach Humanisierung der Arbeit findet sich deshalb zuerst im Betriebsverfassungsgesetz, namentlich durch die Bindung von entsprechenden Maßnahmen an „gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse über die menschengerechte Gestaltung der Arbeit“ in § 90 Unterrichtungs-

und Beratungsrechte und § 91 Mitbestimmungsrecht BetrVG. Die Anforderung der menschengerechten Arbeitsgestaltung wurde nach dem Ende des eigentlichen HdA-Programms 1996 schließlich im Arbeitsschutzgesetz verankert und als Bestandteil des Arbeitsschutzes definiert.

Sträter & Zwingmann (2025) haben deshalb analysiert, welche Aspekte aus dem Konzept der Humanisierung der Arbeit als Vorläufer für die Gesetzesnovelle heutzutage noch aktuell sind und warum so wichtige Begrifflichkeiten wie das der menschengerechten Arbeitsgestaltung selbst nach 30 Jahren aufgrund von wirtschaftlichen Überlegungen ins Hintertreffen geraten. Dieser Artikel nimmt die Gedankengänge auf und plädiert für eine neue Herangehensweise für die Ermöglichung des Arbeitsschutzgesetzes.

2. Das Konzept einer menschengerechten Arbeitsgestaltung

Der etablierte Definitionsvorschlag der Ziele und Inhalte für gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse über die menschengerechte Gestaltung der Arbeit ist gemäß Luczak et al. (1987) die Stufenfolge (vgl. auch Schmauder 2023):

1. Schädigungslosigkeit
2. Ausführbarkeit
3. Zumutbarkeit
4. Persönlichkeitsförderlichkeit und
5. Sozialverträglichkeit

Es fehlte von Beginn an eine durchgängige Operationalisierung dieser Ziele, vor allem der oberen Stufen: Bei den ersten beiden Stufen bewegt man sich noch mehr oder weniger auf sicherem und bekanntem Terrain. Das hat auch dazu geführt, dass mit dem Ziele-Vorschlag von Luczak et al. de facto eine Hierarchie verbunden wurde, die nicht ausdrücklich so geplant war und genaugenommen sachlich nicht ganz richtig ist. Die Hierarchie-Stufen können allerdings durchaus als Reifegradstufen des Arbeitsschutzgesetzes verstanden werden (mit Stufe 5 als höchstem Reifegrad).

Obwohl die Stufen etablierte Fachbegriffe darstellen und auch in der Arbeitswissenschaft in den letzten 30 Jahren Gegenstand umfangreicher und systematischer Forschung waren, muss man sich nach 30 Jahren Entwicklung des Konzeptes der menschengerechten Arbeitsgestaltung fragen, warum eine gesetzliche Anforderung nach 30 Jahren gesetzlicher Implementierung immer noch nicht durchgängig umgesetzt ist, insbesondere was die Stufen 3-5 angeht. Ein typisches Beispiel ist das Thema der psychischen Belastung: der Umsetzungsgrad einer psychischen Gefährdungsbeurteilung ist sehr überschaubar (z. B. Hollstein et al. 2025). Der folgende Abschnitt diskutiert deshalb, welche systemischen Faktoren einer wirksamen Umsetzung des Begriffes ‚menschengerechte Arbeitsgestaltung' entgegenstehen.

3. Menschengerechte Arbeitsgestaltung und Grenzen der Beurteilung der Arbeitsbedingungen

Der Begriff der menschengerechten Arbeitsgestaltung impliziert, dass eine Arbeit zunächst hinsichtlich ihrer „Menschengerechtheit" bewertet werden muss. Einer Bewertung geht immer eine Modellierung voraus, die naturgemäß an einer gewählten Modellvorstellung orientiert ist. Jede Beurteilung der Arbeitsbedingungen und auch eine Gefährdungsbeurteilung durch die Arbeitswissenschaft, den Arbeitsschutz und in

der betrieblichen Praxis vor Ort muss zunächst die zu bewertenden Arbeitsplätze modellieren bzw. geht implizit von einem Modell aus. Ein Modell ist dabei per definitionem immer eine Vereinfachung der Realität, also im Falle der Arbeitsgestaltung eine Vereinfachung der tatsächlichen Arbeitssituation. Relevant für die Qualität einer Gefährdungsbeurteilung ist demzufolge, wie repräsentativ die der Bewertung zugrundeliegenden Modelle für die tatsächliche Arbeitssituation sind. Dabei kann eine Gefährdungsbeurteilung nie 100 % im Sinne einer 100-prozentigen Abdeckung sämtlicher Aspekte der Arbeitssituation gewährleisten, da sie ja modellbasiert geschieht.

3.1 Bedarf an gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen

Zur Umsetzung einer menschengerechten Arbeitsgestaltung ist sicher nicht ein allumfassendes einheitliches Erklärungsmodell erforderlich, aber eine Menge an gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen. Die menschengerechte Arbeitsgestaltung ist ferner auch kein Konzept, das – einmal in die Welt gesetzt – dann für immer konstante Kriterien hat. Es muss sich nicht nur entsprechend den Veränderungen und der Entwicklung der sozial- und arbeitspolitischen Diskussion (s. o.) weiterentwickeln, sondern auch mit den Entwicklungen und Transformationen der Arbeitswelt hinsichtlich Technik, Arbeitsbedingungen oder des Arbeitskräftekörpers. Aktuelle Hauptprobleme der Arbeitspolitik im realen Arbeitskontext sind dabei beispielsweise:

- Digitale Transformation, KI
- Nachhaltigkeit, Umweltschutz, Energie- und Ressourceneffizienz
- Verlust von industriellen Arbeitsplätzen
- Fach- und Arbeitskräftemangel
- Krankenstand
- Integration
- Diversität, Migration
- Beschäftigtengruppen, Basisarbeit, …

Bei allen Themen spielen die menschengerechte Arbeitsgestaltung und individuelle Präventionsmaßnahmen eine zentrale Rolle. Bemerkenswert ist, dass insgesamt die derzeitige Herausforderung der Arbeitsgestaltung mit einem ähnlichen Problem wie zurzeit von HdA konfrontiert ist, denn die Forderung nach HdA kam historisch selbst ja vor dem Hintergrund eines massiven Arbeitskräftemangels auf.

3.2 Resiliente Umsetzungsprozesse der Arbeitsgestaltung

Ein für menschengerechte Arbeitsgestaltung funktionierender organisatorischer Ansatz muss zunächst einmal im Gestaltungsprozess die Ziele und Absichten der Akteure des Gesamtsystems der Produkt- oder Produktionsentstehung sowie deren Wechselwirkungen verstehen, flexibel auf eine Ausweitung des Anwendungskontextes eines Produktes oder Prozesses sowie auf emergentes Verhalten der in dem Prozess beteiligten Personen reagieren können. Bekannt sind diese Eigenschaften aus der Gestaltung von Hochrisiko-Organisationen (Mayer 2015; Seidel 2024; Sträter 2019). Damit menschengerechte Gestaltung von Arbeitssystemen gelingt, sind also folgende Eigenschaften erforderlich:

- Breites Systemverständnis
- Flexibilität bzw. Adaptivität
- Einbindung der beteiligten und betroffenen Akteure

Im Sinne der Resilienzforschung können die von Hollnagel et al. (2005) unterschiedenen Steuermodi als Ausgangspunkt dafür genommen werden, welchen Reifegrad

Organisationen hinsichtlich einer menschengerechten Gestaltung von Arbeitssystemen haben. Hollnagel unterscheidet vier Steuermodi (Tabelle 1 in Anlehnung an Hollnagel et al. 2005; vgl. Sträter 2023): Der ungünstigste ist der konfuse Modus, der dadurch geprägt ist, dass die Akteure ohne besondere Rücksicht aufeinander mehr oder weniger auf eigene Faust ein Produkt oder einen Prozess entwickeln. Im opportunistischen Modus findet in minimaler Ausprägung eine Koordination von Zieldefinitionen der Akteure mit begrenzter Berücksichtigung von Unsicherheiten statt. Diese beiden Modi sind reaktiv. Erst ab dem taktischen Modus findet eine proaktive Systemgestaltung statt. Im taktischen Modus finden dabei lediglich begrenzt koordinierte Planungsprozesse statt. Im strategischen Modus sind alle Akteure aufeinander abgestimmt in einem nachhaltigen Zeithorizont koordiniert am Prozess der Produkt- oder Prozess-Entstehung beteiligt.

Diese Einteilung kann als Reifegradmodell für die Aspekte der Sicherheit, Gesundheit, Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit und Resilienz gesehen werden. Je höherwertiger die Organisationsgestaltung, desto sicherer der Betrieb, desto gesünder die Belegschaft und desto wirtschaftlicher, nachhaltiger und resilienter die Organisation (Tabelle 1). Der Reifegrad geht auch einher mit der organisatorischen Bedeutung bürokratischer Strukturen: Konfuse Steuermodi neigen zu pathogenen Organisationsformen im Sinne von Reason (2008), in denen sich Organisationsmitglieder und -strukturen auf ihre isolierte Betrachtung ihres Verantwortungsrahmen reduzieren, wohingegen Organisationsformen mit strategischen Steuermodi systemisch die Gesamtleistung und ihre proaktive Entwicklung voranstellen.

Tabelle 1: *Resiliente Steuermodi und zu erwartende Effekte menschengerechter Arbeitsgestaltung auf Gesundheit, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit.*

Organisationaler Steuermodus	**Reifegrad der Einbindung menschengerechter Arbeitsgestaltung**	**Effekte auf Sicherheit, Gesundheit, Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit und Resilienz**
Strategisch	• Menschengerechte Arbeitsgestaltung ist strategisch in der Organisationsplanung verankert und Arbeitssysteme und Arbeitsprozesse werden konsequent nach den Prinzipien menschengerechter Arbeitsgestaltung gestaltet	• Die Organisation entwickelt sich resilient und nachhaltig bei hohem wirtschaftlichem Erfolg und hoher Gesundheitsquote • Bürokratische Strukturen unterstützen die Ermöglichung und lösen Konflikte zwischen gesetzlichen Anforderungen auf
Taktisch	• Arbeitssysteme und Arbeitsprozesse werden nach den Prinzipien menschengerechter Arbeitsgestaltung gestaltet, sind jedoch nicht in der strategischen Organisationsplanung verankert	• Die Organisation weist eine hohe Gesundheitsquote auf und weist in seinen Kernprozessen hohen wirtschaftlichen Erfolg auf • Bürokratische Strukturen werden überdacht und Konflikte zwischen gesetzlichen Anforderungen berücksichtigt
Opportunistisch	• Menschengerechte Arbeitsgestaltung findet bei deutlichen Problemen und zur Zufriedenstellung spezifischer Interessensgruppen statt	• Die Organisation weist eine moderate Gesundheitsquote auf, die sich unabhängig von ihrem wirtschaftlichen Erfolg entwickelt • Bürokratische Strukturen sind prozessleitend und rein auf Gesetzestreue ausgelegt
Konfus	• Menschengerechte Arbeitsgestaltung findet nur bei deutlichen Problemen und bedarfsweise statt	• Die Organisation reagiert auf Gesundheitsprobleme und unabhängig davon auf wirtschaftliche Entwickelungen • Bürokratische Strukturen sind prozessleitend aber kontraproduktiv

3.3 Resiliente Interaktion der unterschiedlichen Arbeitsebenen

Für die in diesem Paper umrissene Komplexität der Arbeitsgestaltung gibt es vielfältige Umsetzungshemmnisse, wie beispielsweise das Thema der psychischen Gefährdungsbeurteilung zeigt (Hollstein 2025; Wehrmann, 2024). Nach dem Prinzip der requisiten Variabilität (Hollnagel et al. 2005) müssen Gestaltungsprinzipien diese Komplexität akzeptieren und in ihren Gestaltungsprinzipien aufnehmen, um wirksam zu sein. Hierzu gibt es eine Reihe von interessanten Beispielen, wie dies gelingen kann.

Die regelgebende Ebene ist durch die Ausformung von gesetzlichen Vorgaben geprägt. Im Rahmen der deutschen Aktivität zur Suche eines Standorts für hochradioaktive Abfälle oder im entsprechenden Gesetz, dem Standortauswahlgesetz, festgelegt, dass der Auswahlprozess wissenschaftsbasiert, partizipativ, hinterfragend und lernend auszugestalten ist. Hiermit verankert das Standortauswahlgesetz den soziotechnischen Systemansatz auf gesetzlicher Ebene. Das Gesetz könnte somit als Vorbild für viele gesetzliche Anforderungen in der Arbeitsgestaltung dienen und die Umsetzung und damit die Wirksamkeit von Gesetzen im Arbeitsschutz erhöhen.

Aus dem Gesetz ergibt sich ein konsequentes Co-Design aller Akteure im Sinne der Soziotechnischen Systemgestaltung. Das Zusammenspiel von Akteuren kann bzw. durch eine integrative statt kompetitive Interaktion begleitet werden. Im Rahmen der Vereinheitlichung des europäischen Luftraums wurde mit dem Safety-Scanning ein Verfahren entwickelt, auch widersprüchliche Ziele innerhalb einer Organisation optimal zu integrieren und sicherheitstechnische Widersprüche aufzulösen (Korteweg et al. 2012). Der Ansatz wurde für die integrative Planung von Arbeitssystemen auf Verkehrssysteme, Montage und Fertigung sowie Digitalisierung übertragen (Sträter 2019b).

4. Diskussion

Die derzeitige Entwicklung der Arbeitspolitik ist in einem ähnlich herausfordernden Stadium wie zu Zeiten der Humanisierung der Arbeit. Der Artikel plädiert deshalb für den Neuanlauf einer HdA-Strategie des Bundes mit ein oder auch mehreren Förderprogrammen des Bundes und tendenziell weiterer Träger, um die derzeitige heterogene und in der wirtschaftlichen Entwicklung der Republik schädlichen dialektischen Vorgehensweise entgegenzuwirken und Arbeit sowohl produktiver als auch gesünder und sicherer bzw. nachhaltiger zu gestalten.

Der Artikel zeigt dazu auf, dass das Fehlen eines systemischen Verständnisses über das Zusammenwirken von Akteuren einer wirksamen und effizienten Umsetzung entgegensteht. Der Ansatz der systemischen Resilienz kann hier menschengerechte Gestaltung, wirtschaftlichen Erfolg und Produktivität sowie Nachhaltigkeit sinnvoller integrieren.

Hiermit unterstreicht dieser Beitrag, dass die derzeitige Schieflage nicht aufgrund fehlender inhaltlicher Ausformung der Konstrukte der menschengerechten Arbeit zustande gekommen ist, sondern dass ein sinnvolles Zusammenspiel aller Akteure fehlt. Der hier dargestellte Ansatz stellt zur Überwindung dieser systemischen Blockaden durch die Ermöglichung von menschengerechter Arbeitsgestaltung mittels Resilienz als Lösung vor. Dass eine solche Herangehensweise auch gesetzlich untermauert werden kann, zeigt die sicherheitstechnisch und gesellschaftlich derzeit durchgeführte Aufgabe der Suche nach einem Endlager für den hochradioaktiven Müll aus der Ära

der deutschen Kernenergie. Das für die Standortauswahl verabschiedete Standortauswahlgesetz legt den Fokus genau auf die Ermöglichung. Das Gesetz fordert von dem Suchprozess, dass dieser wissenschaftsbasiert, lernend und hinterfragend vorzugehen hat (Seidel 2024). Durch diese Anforderung stellt der Gesetzgeber die Ermöglichung in den Fokus, um Entwicklungen wie die bürgerkriegsähnlichen Zustände in der Gesellschaft nach Etablierung des Standorts Gorleben zu vermeiden und sicherzustellen, dass ein Endlager im gesellschaftlichen Konsens gefunden werden kann. Diese Grundprinzipien können ohne weiteres auf die Anforderungen der Ermöglichung des Arbeitsschutzgesetzes und insbesondere der menschengerechten Arbeitsgestaltung übertragen werden.

5. Literatur

Bundesgesetzblatt (1996) Gesetz zur Umsetzung der EG-Rahmenrichtlinie Arbeitsschutz und weitere Arbeitsschutzrichtlinien Bundesgesetzblatt Nummer 43. Bonn.

Hollnagel E, Woods D, Leveson N (2005) Resilience Engineering – Concepts and Precepts. Ashgate. Aldershot. (ISBN 0754646416).

HollsteinK, Sträter O, Kramer F (2025) Betriebliche Hemmnisse der Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastungen. Sicher ist sicher. Ausgabe 1/2025. ISSN 2199-7349. Erich Schmidt Verlag. https://doi.org/10.37307/j.2199-7349.2025.01.

Korteweg H, Straeter O, Athanassiou G (2012) Safety Scanning for the Single European Sky. In GfA (Hrsg.), Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme – Wege zur gesunden, effizienten und sicheren Arbeit (S. 65-68). Dortmund: GfA-Press.

Luczak H, Volpert W, Raeithel A, Schwier W (1987) Arbeitswissenschaft. Kerndefinition - Gegenstandskatalog - Forschungsgebiete. Eschborn: RKW-Verlag.

Mayer M (2015) Managementsysteme für Hochzuverlässigkeitsorganisationen - Integration und Wirksamkeit, Schriftenreihe Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel. urn:nbn:de:hebis:34-2015062448581.

Reason J (2008) Managing the Risk of Organizational Accidents. Revised. Routledge. London.

Schmauder M (2023) #

Seidel L (2024) Resilienz in Managementsystemen als Voraussetzung für die Systemintegrität in Großprojekten am Beispiel der Standortauswahl für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle, Schriftenreihe Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel. https://doi.org/10.17170/kobra-2024121010742.

Sträter O (2019. Wandel der Arbeitsgestaltung durch Digitalisierung Transfer von Erkenntnissen aus der Sicherheitsforschung auf die Arbeitsgestaltung in der digitalen Transformation. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 73, 252-260. Springer.

Sträter, O. (2023). Basisarbeit und menschengerechte Arbeitsgestaltung – Strategische Erfordernisse und Ansätze. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 77 (4), S. 567-577. https://dx.doi. org/doi: 10.17170/kobra-202401039315.

Sträter O (Hrsg.) (2019b) Risikofaktor Mensch? – Zuverlässiges Handeln gestalten. Berlin: Beuth. Risikofaktor Mensch? - 2019-11 - Beuth.de.

Sträter O, Zwingmann B (2025) Kontexte, Bedingungsgefüge und Ermöglichungen einer menschengerechten Arbeitsgestaltung. Z. Arb. Wiss. 79, 481-496). https://doi.org/10.1007/s41449-025-00497-y

Wehrmann, J. (2024) Stressoren und Ressourcen in der Interaktionsarbeit – Berücksichtigung spezifischer Belastungsfaktoren in der Gefährdungsbeurteilung. Schriftenreihe Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel. https://doi.org/10.17170/kobra-2025033011004.

Humane Arbeitsgestaltung: Wie die Digitalisierung der Arbeit bedeutsame Arbeitsmerkmale in verschiedenen Berufen verändert

Sandra OHLY, Amina GRANICA, Hannes HERWIG, Niklas KÜHLEWIND, Tobias PAETZOLD, Lana VINHOVEN, Luisa WIEMERS, Xi ZHANG
Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Universität Kassel
Nora-Platiel-Straße 4, D- 34109 Kassel

Kurzfassung: Wenn vermehrt digitale Tools eingesetzt werden und Arbeit im Homeoffice stattfindet, verändern sich Arbeitsbedingungen. Der vorliegende Beitrag analysiert diese Veränderungen anhand von 8 Fällen und arbeitet Gemeinsamkeiten und Unterschiede heraus. Die Prognose von Lernen, Wohlbefinden und Arbeitsleistung erlaubt es, Fehlentwicklungen in der Arbeitsgestaltungen abzuschätzen.
Praktische Relevanz: Durch Aufmerksamkeit auf mögliche Fehlentwicklungen können Gegenmaßnahmen getroffen werden, etwa zur Verbesserung der Kommunikation und sozialen Unterstützung bei ortsverteilter Arbeit oder der angepassten Gestaltung von KI-Systemen.

Schlüsselwörter: Arbeitsgestaltung, Lernen, Wohlbefinden, Arbeitsleistung

1. Einleitung

Während die Digitale Transformation von populären Medien oft mit der Vorstellung zunehmender Arbeitsplatzunsicherheit diskutiert wird, bietet die Arbeitsökonomie eine differenziertere Antwort auf die Ersetzbarkeit oder Automatisierbarkeit von Tätigkeiten (nicht Arbeitsplätzen). Dennoch bleiben die Fragen bestehen: Welche Veränderungen bringt die verbreitete Nutzung digitaler Werkzeuge mit sich, und was bedeuten die vielfältigen Arten, in denen digitale Werkzeuge in Organisationen implementiert und von Individuen genutzt werden, für das Arbeitserleben der einzelnen Personen?

Unser Beitrag basiert auf der Annahme, dass Arbeitsgestaltung sich auf den Inhalt und die Organisation der eigenen Arbeitsaufgaben, -aktivitäten, -beziehungen und -verantwortlichkeiten konzentriert (Parker 2014) und dass die Forschung zur Arbeitsgestaltung zentrale Arbeitsmerkmale bzw. Attribute der Arbeit untersucht hat, die für Beschäftigte psychologische Bedeutung haben (Wang & Parker 2025), wobei Technologie einen signifikanten Einfluss auf zentrale Arbeitsmerkmale und auf die Arbeitserfahrungen der Beschäftigten hat. Es ist daher wichtig zu untersuchen, wie digitale Werkzeuge, einschließlich generativer und prädiktiver KI-Systeme sowie Kollaborationstools, die zentralen Arbeitsmerkmale von Individuen und Outcomes wie Lernen, Arbeitsleistung und Wohlbefinden, beeinflussen.

Dieser Beitrag analysiert Merkmale von acht Berufen und untersucht, wie sie durch aktuelle oder absehbare Arbeitsveränderungen beeinflusst werden. Der explorative Ansatz ermöglicht eine berufsübergreifende Beantwortung der Forschungsfrage. Während bisherige Arbeiten vor allem in Tätigkeiten betrachten in denen KI bereits implementiert ist (Bienefeld & Grote 2025), könnten aufgrund der grundlegenden Veränderungen von Arbeitsrollen, Aufgaben und Arbeitsabläufen (Adolph et al. 2025), generative KI-Systeme auch in bislang wenig untersuchten Bereichen eingesetzt werden.

Zur Vorhersage der möglichen Outcomes veränderter Arbeitsmerkmale stützen wir uns auf Modelle und empirische Befunde dazu, wie Arbeitsgestaltung Leistung (Ohly & Venz 2025), Lernen (Parker 2017) und Wohlbefinden (Sonnentag 2025) beeinflusst. Diese theoretischen und empirischen Grundlagen unserer Analysen werden im nächsten Abschnitt dargestellt.

Verschiedene Ansätze konvergieren in dem, was als gute Arbeitsgestaltung gilt. Auf Grundlage der deutschen Handlungsregulationstheorie (Hacker & Sachse 2023) wird angenommen, dass das Konzept der Aufgabenvollständigkeit (siehe auch Mustapha & Rau 2024) Lernen und Leistung fördert und besseres Wohlbefinden ermöglicht. Aufgabenvollständigkeit umfasst den gesamten Handlungsprozess von Zielsetzung, Orientierung, Planung, Ausführung und Kontrolle (Frese & Zapf 1994) und beinhaltet Handlungsregulation auf mehreren Ebenen, einschließlich bewusster und automatisierter Modi (Frese & Zapf 1994). Aufgabenvollständigkeit erfordert ein hohes Maß an Autonomie bei der Zielsetzung und Entscheidungsfindung (Mustapha & Rau 2024). In Übereinstimmung mit dieser Annahme korrelierte Aufgabenvollständigkeit (erfasst über Expertenurteile) mit den Einschätzungen der Stelleninhaber*Innen über ihren Tätigkeitsspielraum (Mustapha & Rau 2024), aber auch mit höheren Bewertungen der Arbeitsintensität in einer Stichprobe von Beschäftigten aus unterschiedlichen Berufen.

Die Idee, dass Arbeitsanforderungen innerhalb tolerierbarer Grenzen liegen müssen, wurde jüngst im SMART-Ansatz der Arbeitsgestaltung aufgegriffen. Dieser beschreibt verschiedene Arbeitsmerkmale, die eine Tätigkeit anregend machen (z. B. Aufgabenvielfalt), die Förderlichkeit von Kompetenzerleben (z. B. durch Feedback) und soziale Eingebundenheit (z. B. soziale Unterstützung) ermöglichen und Autonomie erlauben (z. B. zeitliche Autonomie), sowie tolerierbar sind (z. B. geringe Rollenkonflikte; Parker & Knight 2024). Der SMART-Ansatz der Arbeitsgestaltung wurde entwickelt, um einen integrativen Rahmen der Arbeitsgestaltung bereitzustellen. SMART-Arbeitsgestaltung stellt eine übergeordnete, abstrakte Beschreibung dessen dar, was einen guten Beruf ausmacht, und ermöglicht Analysen und Vergleiche von Berufen (Parker & Knight, 2024). Der SMART-Ansatz der Arbeitsgestaltung steht zudem im Einklang mit dem, was als humane Arbeit verstanden wird (Hacker & Sachse 2023; Schlick et al. 2018): Arbeit, die ausführbar ist, nicht schädigt, tolerierbar und zufriedenstellend ist sowie persönliches Wachstum und Lernen fördert (siehe auch Schmauder 2023). Hinsichtlich der empirischen Evidenz zeigen Metaanalysen (Humphrey et al. 2007; Irmer et al. 2019) und Übersichtsarbeiten (Sonnentag 2025), dass Arbeitsautonomie, Feedback und soziale Unterstützung mit höherer Arbeitsleistung und besserem Wohlbefinden assoziiert sind. In Bezug auf anregende Arbeitsmerkmale (z. B. Aufgabenvielfalt, Tätigkeitskomplexität) ergibt sich für das Wohlbefinden ein gemischtes Bild (Sonnentag 2025). Dies steht im Einklang mit metaanalytischen Befunden (Humphrey et al. 2007; Irmer et al. 2019). Höhere Anforderungen bzw. Stressoren stehen konsistent in Zusammenhang mit geringerem Wohlbefinden (Irmer et al. 2019; Sonnentag 2025).

2. Methode und Ergebnisse

2.1 Vorgehen

Informationen zu Arbeitsaktivitäten und Arbeitsmerkmalen wurden im Sommer 2025 mittels explorativer Interviews erhoben, die im Rahmen eines Master-Seminars zur

Arbeitsgestaltung am Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften durchgeführt wurden. Die Studierenden wählten Interviewpartner aus, die bereit war, detailliert über ihren Beruf zu berichten. Die Beschreibung der Arbeitstätigkeit erfolgte anhand des Work Design Questionnaire (Morgeson & Humphrey 2006b; deutsche Version nach Stegmann et al. 2010), des ISTA (Instrument zur stressbezogenen Tätigkeitsanalyse; Irmer et al. 2019; Semmer et al., 2006) sowie des FEWS (Frankfurter Emotionsarbeitsskalen; Zapf et al. 2001). Studien zu Veränderungen von Arbeitsmerkmalen (Wegman et al. 2018; Griffin 1991; Wall & Clegg 1981), Untersuchungen zum ortsunabhängigen Arbeiten (Choudhury et al. 2021; Golden & Gajendran 2019; Wang et al. 2021) sowie zu KI-Einsatz (Eloundou et al.2024; Jia et al. 2024; Selenko et al. 2022) und Befunde zu Wohlbefinden, Leistung und Lernen dienten als Grundlage der Analyse.

2.2 Analyse der Fallbeispiele

In den acht Fallbeispielen zeigen sich mehrere nennenswerte Gemeinsamkeiten, sowohl in den beobachteten Veränderungen als auch in den prognostizierten Outcomes (Lernen, Wohlbefinden).

Erstens ist es fünf der acht Personen möglich, ortsunabhängig zu arbeiten, was in all diesen Fällen die Arbeitsmerkmale in ähnlicher Weise beeinflusst. So war die Autonomie aufgrund der erhöhten Flexibilität bei der Wahl von Arbeitszeit und -ort höher. In einigen Fällen gestaltete sich die Kommunikation mit Kolleg*Innen schwieriger (entweder aufgrund fehlender nonverbaler Hinweise oder eingeschränkter Erreichbarkeit), was zu einer Verschlechterung relationaler Arbeitsmerkmale wie geringerer sozialer Unterstützung und weniger Feedback führen könnte. Die Zusammenarbeit mit anderen wurde auf diese Weise erschwert, insbesondere dann, wenn die Interdependenz unverändert hoch blieb. Digitale Werkzeuge können die Zusammenarbeit jedoch auch unterstützen, wie der Fall der Teamleitung im Risikomanagement zeigt, bei der Kollaborationstools eingesetzt wurden, die das Feedback verbesserten und die bedarfsgerechte Terminplanung von Meetings erleichterten.

Zweitens beeinflusst in mehreren Fällen der Einsatz von KI-Systemen, entweder in Form prädiktiver KI (Gebietsmanager) oder generativer KI (medizinische Fachassistenz; Teamleitung im Risikomanagement), bereits gegenwärtig die zentralen Arbeitsaufgaben oder wird diese voraussichtlich künftig beeinflussen. In der Folge müssen Individuen neue Kompetenzen erwerben, um ihre beruflichen Aufgaben weiterhin erfüllen zu können. Gemäß dem WDGM wird informelles **Lernen** und persönliche Entwicklung bei der Arbeit begünstigt, wenn die Arbeitsgestaltung mit dem SMART-Modell übereinstimmt und anregende, kompetenzerleben-förderliche, autonome, relationale Arbeitsmerkmale sowie tolerierbare Anforderungen bereitstellt (Parker 2017). In nahezu allen Fällen führten die jüngsten Veränderungen der Arbeit zu einer Zunahme anregender Arbeitsmerkmale, oder der Einsatz von KI wird voraussichtlich anregende Merkmale erhöhen, etwa durch die Eliminierung routinisierter Arbeitsaufgaben (siehe Jia et al. 2024). Der Anstieg anregender Arbeitsmerkmale dürfte das Lernen fördern. Gleichzeitig erschwert die oben beschriebene Verschlechterung relationaler Arbeitsmerkmale wie Unterstützung oder Feedback das Lernen. Als Ergebnis dieser Entwicklungen besteht ein erhöhter Bedarf an Kompetenzerwerb, jedoch ohne entsprechend unterstützende Arbeitsbedingungen.

Drittens lassen sich verschiedene Arbeitsmerkmale mit Outcomes des **Wohlbefindens** in Verbindung bringen. In Bezug auf anregende Merkmale deuten mehrere Fallanalysen darauf hin, dass diese das Wohlbefinden fördern können, jedoch nur dann,

wenn die notwendigen Fähigkeiten und Fertigkeiten vorhanden sind, um mit den höheren Anforderungen umzugehen. So könnten für den Konzerncontroller die komplexeren Aufgaben die Sinnhaftigkeit der Arbeit erhöhen. Zugleich kann die Eliminierung weniger kognitiv anspruchsvoller Aufgaben zu Überlastung führen, im Einklang mit den Beobachtungen von Sonnentag (2025). Wohlbefinden und Work-Life-Balance können zudem unter einer Verwischung der Grenzen zwischen Arbeits- und Privatleben leiden, die Erholung behindert, sofern sich die Individuen dieses Problems nicht bewusst sind (Teamleitung im Risikomanagement). Die Verschlechterung sozialer Unterstützung kann ebenfalls ein Risiko für das Wohlbefinden darstellen. Hinsichtlich der Anforderungen in Bezug auf Emotionsarbeit zeigten sich zudem kontrastierende Beobachtungen. Während in einigen Fällen die Schwierigkeit beobachtet wurde, in virtuellen Settings mittels Videokonferenzen die Emotionen anderer zutreffend wahrzunehmen, scheint es in einem Fall unter diesen Bedingungen leichter zu sein, eigene Emotionen zu verbergen.

Im Hinblick auf die **Arbeitsleistung** erwies sich eine Prognose als schwierig. Für die HR-Spezialist*In könnte die Automatisierung bestimmter Aufgaben (möglicherweise durch den Einsatz von KI) einige Anforderungen sowie begleitende Regulationshindernisse reduzieren, was die Effektivität erhöhen könnte. Die daraus resultierende Arbeitsanreicherung (Job Enrichment; Jia et al. 2023) führt dazu, dass anspruchsvollere Aufgaben bei der HR-Spezialist*In verbleiben, was die intrinsische Motivation und damit die Arbeitsleistung fördern kann. Gleichzeitig sind jedoch neue Kompetenzen zur Verarbeitung und Bewertung KI-generierter Outputs erforderlich, sodass eine Leistungssteigerung nicht garantiert ist. Mangelnde Kommunikation, fehlendes Feedback oder unklare Verantwortlichkeiten können zu Regulationsunsicherheit führen und in der Folge die Arbeitsleistung verringern. Für die Teamleitung im Risikomanagement erhöht der Einsatz digitaler Werkzeuge die Planungsautonomie, was die Arbeitsleistung steigert (Humphrey et al. 2007; eine ähnliche Beobachtung zeigt sich für den Buchhalter). Echtzeitkommunikation und gemeinsames Problemlösen über Kollaborationstools können die soziale Integration unterstützen, was leistungsförderlich ist (Humphrey et al. 2007). Dies erscheint im Fall der Teamleitung im Risikomanagement wahrscheinlich, im Fall des Buchhalters hingegen weniger. In diesem Fall kann fehlendes Feedback demotivierend wirken.

Darüber hinaus können KI-Systeme als Teammitglieder fungieren (z. B. durch Bereitstellung von Feedback, Beratung oder alternativen Lösungen) und so die Qualität von Arbeitsergebnissen verbessern. Gleichzeitig können Informationsüberflutung und ständige Erreichbarkeit mentale Ressourcen beanspruchen, was zu Leistungseinbußen führen kann (siehe Ohly & Venz 2025).

3. Diskussion

Die Fallanalysen zeigen einen allgemeinen Trend hin zu anregenderer oder komplexerer Arbeit, die jedoch zu Überlastung führen kann, wenn sie nicht von Maßnahmen zur Erweiterung von Kompetenzen und Arbeitsstrategien begleitet wird. Dies unterstreicht die Bedeutung informellen Lernens durch Feedback und soziale Unterstützung. Insgesamt scheint Arbeit angereicherter zu werden (höhere Autonomie, stärkere Anregung), zugleich jedoch auch anspruchsvoller (höherer Zeitdruck, ständige Anforderungen an Emotionsarbeit). Im Hinblick auf die Kriterien humaner Arbeit erscheint Aufgabenvollständigkeit in den hier dargestellten Fallanalysen grundsätzlich erreich-

bar. Eine Einschränkung besteht jedoch in der potenziellen Nutzung von KI zur Übernahme routinisierter, wenig anspruchsvoller Aufgaben, wodurch die hierarchische Vollständigkeit der Arbeit verloren gehen könnte (Mustapha & Rau 2024). Bezogen auf das SMART-Modell zeigen die Fallanalysen höhere Ausprägungen an Anregung und Autonomie, zugleich aber auch höhere Anforderungsniveaus (d.h. geringere Tolerierbarkeit) sowie ambivalente Effekte auf relationale Arbeitsmerkmale (soziale Unterstützung) und Merkmale die Kompetenzerleben fördern (Feedback). Dies könnte langfristig negative Auswirkungen auf Lernen, Wohlbefinden und Arbeitsleistung haben. Es besteht das Risiko, dass Arbeit aufgrund höherer Anregung und höherer Anforderungen langfristig weniger tolerierbar und zufriedenstellend wird.

Die Analysen haben Implikationen für die Arbeitsgestaltung, wenn KI-Systeme zunehmend implementiert werden oder generative KI als Shadow IT eingesetzt wird, unabhängig von organisationalen Genehmigungen. Befragungsdaten Anfang 2024 zeigen, dass Beschäftigte in angereicherten und zugleich anspruchsvollen Berufen (d. h. Berufen, die durch hohe Anforderungen hinsichtlich Arbeitsbelastung und Informationsverarbeitung sowie durch hohe Autonomie und soziale Unterstützung gekennzeichnet sind) eher generativer KI nutzen (Neufeld et al. 2025). Dies deutet darauf hin, dass Individuen sich für den Einsatz generativer KI als Werkzeug entscheiden könnten, um mit hoch anspruchsvollen Arbeitsaufgaben effizienter umzugehen und qualitativ gute Ergebnisse zu erzielen und somit im Sinne einer bottom-up-Arbeitsgestaltung (Parker et al. 2017) handeln. Wird die Implementierung von KI-Systemen hingegen top-down entschieden, kann gezielt darauf geachtet werden, die hier beschriebenen potenziellen negativen Effekte abzumildern.

Obwohl die vorliegenden Analysen auf mehreren unterschiedlichen Fallbeispielen basieren, führte die durch Studierende rekrutierte Stichprobe zu einer Überrepräsentation von Berufen mit hohem Qualifikationsniveau. Entsprechend sind die Analysen auf wissensintensive geistige Berufe beschränkt. Veränderungen in Berufen mit körperlicher Arbeit sind nicht adäquat abgebildet, auch wenn gewisse Analogien bestehen könnten. Die Prognose, wie die Einführung von KI-Systemen Berufe verändern wird, erwies sich in diesem frühen Stadium als schwierig und ist auf die zum Zeitpunkt der Untersuchung verfügbaren Typen von KI-Systemen begrenzt. Obwohl eine umfassende Analyse angestrebt wurde, könnten aufgrund der Fokussierung auf ausgewählte Arbeitsmerkmale einige relevante Unterschiede zwischen Berufen unberücksichtigt geblieben sein.

4. Literatur

Adolph L, Kirchhoff BM, Hamideh Kerdar S (2025) Artificial intelligence in work design: unlocking inclusion and overcoming barriers. Z. Arb. Wiss. 79: 197–205.

Bienefeld N, Grote G (2025) Artificial intelligence: How it changes the landscape for work design research and practice. In: Parker, Sharon K., Knight, Caroline, Klonek FE, Zhang F (Hrsg.) Transformative Work Design. Synthesis and New Directions 481–502. Oxford University Press.

Choudhury P, Foroughi C, Larson B (2021) Work-from-anywhere: The productivity effects of geographic flexibility. Strategic Management Journal 42: 655–683.

Dettmers J (2017) How extended work availability affects well-being: The mediating roles of psychological detachment and work-family-conflict. Work & Stress 31: 24–41.

Eloundou T, Manning S, Mishkin P, Rock D (2024) GPTs are GPTs: Labor market impact potential of LLMs. Science 384: 1306–1308.

Frese M, Zapf D (1994) Action as the core of work psychology: A German approach. In: Triandis, H. C., Dunnette, M. D., Hough LM (Hrsg.) Handbook of industrial and organizational psychology 271-340. 2nd Consulting Psychologist Press, Palo Alto, CA.

Golden TD, Gajendran RS (2019) Unpacking the Role of a Telecommuter's Job in Their Performance: Examining Job Complexity, Problem Solving, Interdependence, and Social Support. J Bus Psychol 34: 55–69.

Greenhaus JH, Beutell NJ (1985) Sources of Conflict Between Work and Family Roles. AMR 10: 76–88.

Griffin RW (1991) Research Notes. Effects of Work Redesign on Employee Perceptions, Attitudes, and Behaviors: A Long-Term Investigation. AMJ 34: 425–435.

Hacker W, Sachse P (2023) Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. vdf Hochschulverlag AG.

Humphrey SE, Nahrgang JD, Morgeson FP (2007) Integrating motivational, social, and contextual work design features: a meta-analytic summary and theoretical extension of the work design literature. The Journal of applied psychology 92: 1332–1356.

Irmer JP, Kern M, Schermelleh-Engel K, Semmer NK, Zapf D (2019) The Instrument for Stress-Oriented Task Analysis (ISTA). Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie A&O 63: 217–237.

Jia N, Luo X, Fang Z, Liao C (2024) When and How Artificial Intelligence Augments Employee Creativity. AMJ 67: 5–32.

Morgeson FP, Humphrey SE (2006) The Work Design Questionnaire (WDQ): developing and validating a comprehensive measure for assessing job design and the nature of work. The Journal of applied psychology 91: 1321–1339.

Mustapha V, Rau R (2024) Das Konstrukt der „vollständigen Tätigkeit" als Ziel guter Arbeitsgestaltung. Zeitschrift für Arbeits- Und Organisationspsychologie 68: 67–81.

Neufeld K, Ohly, Sandra, Sedefoglu, Didem, Steinhardt I, Mauermeister S (2025) Analyzing the role of socio-economic status, education, and work characteristics in times of generative artificial intelligence and digital divide. Career Development International.

Ohly S, Venz L (2025) Work design and performance. In: Parker, Sharon K., Knight, Caroline, Klonek FE, Zhang F (Hrsg.) Transformative Work Design. Synthesis and New Directions 145–172. Oxford University Press.

Parker SK (2017) Work Design Growth Model: How Work Characteristics Promote Learning and Development. In: Autonomous Learning in the Workplace 137–161. Routledge.

Parker SK, Knight C (2024) The SMART model of work design: A higher order structure to help see the wood from the trees. Human Resource Management 63: 265–291.

Parker SK, van den Broeck A, Holman D (2017) Work Design Influences: A Synthesis of Multilevel Factors that Affect the Design of Jobs. Academy of Management Annals. 11: 267–308.

Schlick C, Bruder R, Luczak H (2018) Arbeitswissenschaft. Springer-Verlag.

Schmauder M (2023) Kriterien menschen-gerechter Arbeit. Criteria for human-centered work. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.) Nachhaltige Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit - Menschengerechte Arbeitsgestaltung - Basisarbeit und neue Arbeitsformen o.S. GfA-Press.

Selenko E, Bankins S, Shoss M, Warburton J, Restubog SLD (2022) Artificial Intelligence and the Future of Work: A Functional-Identity Perspective. Curr Dir Psychol Sci 31: 272–279.

Semmer N, Zapf D, Dunckel H (1999) Instrument zur stressbezogenen Tätigkeitsanalyse. In: Dunckel H (Hrsg.) Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren 179–204. vdf Hochschulverlag.

Sonnentag S (2025) Job design and well-being. A review of the empirical evidence. In: Parker, Sharon K., Knight, Caroline, Klonek FE, Zhang F (Hrsg.) Transformative Work Design. Synthesis and New Directions 95–145. Oxford University Press.

Stegmann S, van Dick R, Ullrich J, Charalambous J, Menzel B, Egold N, Wu TT-C (2010) Der Work Design Questionnaire. Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie A&O 54: 1–28.

Wall TD, Clegg CW (1981) A longitudinal field study of group work redesig. J Organ Behavior 2: 31–49.

Wang B, Fang X, Zhao Y (2025) Understanding why, when and how virtual work works through the lens of a work design perspective. In: Parker, Sharon K., Knight, Caroline, Klonek FE, Zhang F (Hrsg.) Transformative Work Design. Synthesis and New Directions 543–566. Oxford University Press.

Wang B, Liu Y, Qian J, Parker SK (2021) Achieving Effective Remote Working During the COVID-19 Pandemic: A Work Design Perspective. Applied psychology = Psychologie appliquee 70: 16–59.

Wegman LA, Hoffman BJ, Carter NT, Twenge JM, Guenole N (2018) Placing Job Characteristics in Context: Cross-Temporal Meta-Analysis of Changes in Job Characteristics Since 1975. Journal of Management 44: 352–386.

Zapf D, Vogt C, Seifert C, Mertini H, Isic A (2001) Frankfurt Emotion Work Scales. https://doi.org/10.1037/t43728-000.

Optimierung der Mensch-Roboter-Kollaboration durch prognostizierbare Bewegungen und anthropomorphe Bahnführung

Sumona SEN[1], Mehrach SAKI[2]

[1] Labor Human Factors Engineering & Production Management
Hochschule Niederrhein, Reinarzstr. 49, D-47805 Krefeld
[2] Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel
Heinrich-Plett-Str. 40, D-34132 Kassel

Kurzfassung: Die Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) gewinnt als Bestandteil moderner Produktionssysteme zunehmend an Bedeutung. Um Vertrauen und Sicherheit in der Interaktion zu fördern, sind vorhersagbare und verständliche Bewegungsmuster des Roboters essenziell. Der Beitrag stellt zwei empirische Studien vor: Die erste untersucht die Wirkung individuell programmierter, anthropomorpher Bewegungsbahnen auf Vertrauen und Verhalten. Die zweite fokussiert auf die Prognosefähigkeit verschiedener standardisierter Trajektorienformen. Die Ergebnisse belegen, dass sowohl partizipative Bahnprogrammierung als auch kontinuierliche, erwartungskonforme Trajektorien zentrale Schlüssel-faktoren für Interaktionssicherheit und Systemakzeptanz in der MRK darstellen.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Kollaboration, Human Factors, Situationsbewusstsein, Interaktionssicherheit

1. Einleitung

Die zunehmende Integration kollaborativer Robotersysteme in industrielle und nicht-industrielle Arbeitskontexte stellt neue Anforderungen an die Gestaltung sicherer und akzeptierter Interaktionen. Vertrauen, Erwartungskonformität und Situationsbewusstsein gelten als kritische psychologische Faktoren für gelingende MRK (Sträter & Bengler, 2019; Endsley, 1998). Besonders nicht antizipierbare Bewegungsabläufe werden als unsicher, unverständlich und kognitiv belastend erlebt (Hald et al., 2019; Dehais et al., 2011). Das vorliegende Paper stellt zentrale Erkenntnisse zweier empirischer Studien vor, die analysieren, inwiefern verschiedene Bewegungsformen und Beteiligungsgrade des Menschen an der Bewegungs-programmierung zur Verbesserung der Interaktion beitragen können.

2. Hintergrund und Forschungsbedarf

Die Gestaltung robotischer Bewegungsbahnen, auch Trajektorien genannt, beeinflusst direkt das menschliche Vertrauen in ein System (Palmarini et al., 2018), die wahrgenommene Sicherheit (Müller et al., 2019) und das Situationsbewusstsein im Sinne der Theorie von Endsley (1998). Besonders relevant ist die dritte Ebene des Situationsbewusstseins – die Fähigkeit zur Vorhersage zukünftiger Systemzustände (Endsley & Garland, 2000). Studien zeigen, dass vorhersagbare, kontinuierliche Bewegungsmuster leichter zu verstehen und zu antizipieren sind als diskontinuierliche,

abrupte Bewegungen wie sie z. B. bei Point-to-Point-Trajektorien auftreten (Koppenborg et al., 2017; Lasota & Shah, 2015).

Zudem kann eine partizipative Gestaltung – etwa durch eigene Bewegungsvorgabe – das Systemverhalten nachvollziehbarer machen und das Vertrauen in die Maschine stärken (Dragan et al., 2015). Vor diesem Hintergrund untersuchen zwei komplementäre Studien, wie sich die Bewegungsform und die Art der Trajektorienprogrammierung auf Vertrauen, Verhalten, visuelle Aufmerksamkeit und Situationsbewusstsein auswirken.

3. Methodik

3.1 Studie 1: Individualbahn vs. Point-to-Point (PTP)

In Studie 1 wurde eine selbst programmierte, anthropomorphe Bewegungsbahn mit einer klassischen PTP-Trajektorie verglichen. Die Individualbahn wurde durch die Aufnahme der eigenen Armbewegung (siehe Abb. 1) via Motion-Capturing (Mo Cap) erstellt. Die 37 Teilnehmenden absolvierten beide Bedingungen (Within-Subject-Design) im Rahmen einer Montagelinie. Erhoben wurden subjektives Vertrauen (TSQ), Arbeitsbelastung (NASA-TLX), Blickverhalten (Eyetracking) sowie Distanzverhalten (Kopfgeschwindigkeit über Mo Cap).

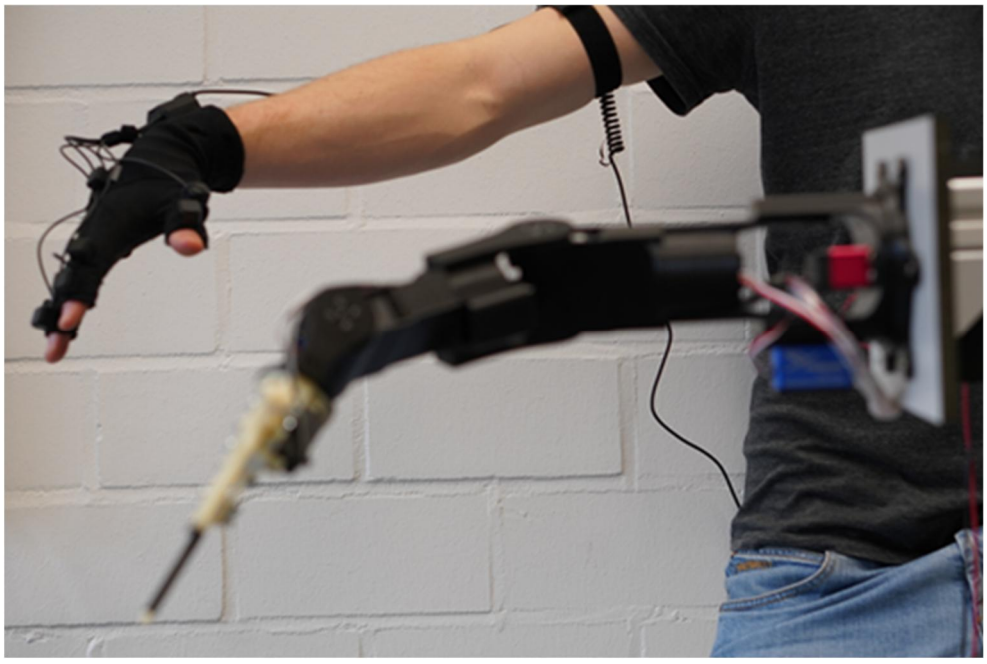


***Abbildung 1**: Programmierung der Individualbahn über die eigene Armbewegung für ein MRK-Szenario.*

3.2 Studie 2: Studie 2: Vergleich von drei Bewegungsformen

In Studie 2 wurden drei standardisierte Trajektorien (PTP, linear, zirkular) in einem Between-Subjects-Design mit 51 Teilnehmenden verglichen.
Die Probanden arbeiteten mit einem Roboter in einem Full-Scope-Simulationslabor (siehe Abb. 2). Neben Eye-Tracking und subjektiver Bewertung der Erwartungs-

konformität wurde das Situationsbewusstsein mit dem Verfahren SAGAT erhoben, das durch situative Einfrierungen alle drei Ebenen von SA (Wahrnehmung, Verstehen, Prognose) abfragt (Endsley & Garland, 2000).

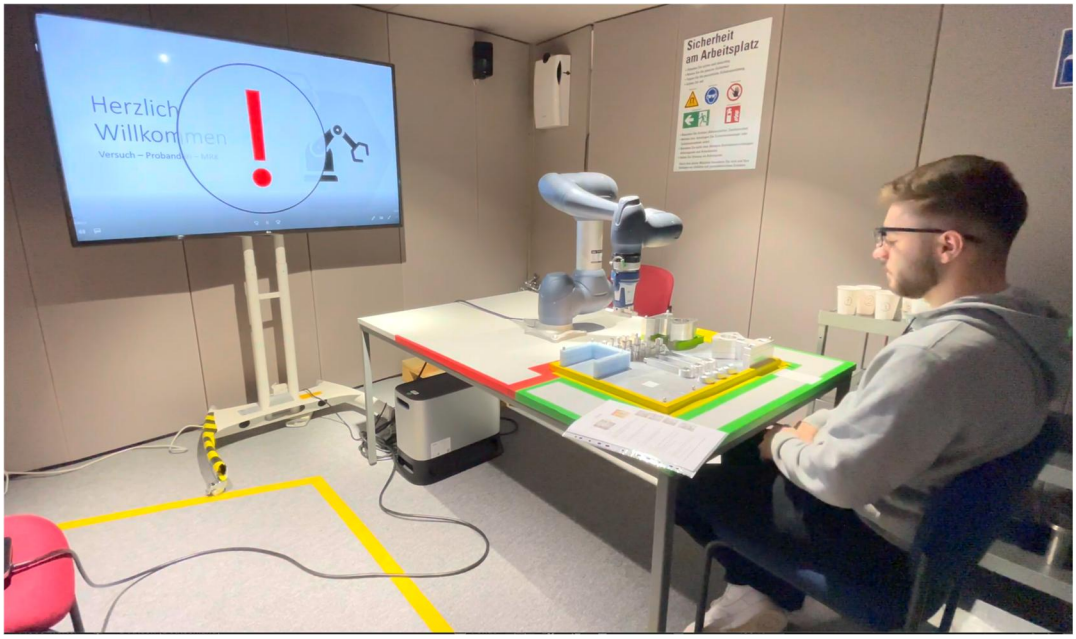


***Abbildung 2**: Experimentalaufbau Studie 2 im Full-Scope Simulator.*

4. Ergebnisse

4.1 Studie 1: Individualbahn vs. Point-to-Point (PTP)

Die Individualbahn erzielte signifikant höhere Vertrauenswerte beim TSQ ($t(36) = 3{,}27$; $p < .05$; $d = 0{,}60$). Die Subskalen „Bewegung/Geschwindigkeit“ und „Kooperation“ des TSQ waren im Gegensatz zur Subskala „Zuverlässigkeit Roboter und Greifer“ signifikant höher eingestuft worden. Die analysierte Kopfgeschwindigkeit war bei der PTP-Bahn signifikant höher ($M = 0{,}029$ m/s) als bei der Individualbahn ($M = 0{,}023$ m/s), was auf eine stärkere Schreckreaktion hindeutet. Das Blickverhalten zeigte tendenziell weniger Fixationen auf den Roboterarm bei der Individualbahn ($M = 0{,}73$) als bei der PTP-Bahn ($M = 1{,}33$) – bei einem $p = .05$.

4.2 Studie 2: Vergleich von drei Bewegungsformen

Die Eyetracking-Daten belegten für PTP eine höhere visuelle Kontrolle (mehr Fixationsdauer auf Greifer/Arm), während sich Teilnehmende bei linearen und zirkularen Bewegungen stärker auf die eigene Aufgabe konzentrierten. Im SAGAT erreichte die PTP-Bedingung niedrigere Werte insbesondere bei der dritten Ebene (Prognose): PTP = 43 %, linear = 55 %, zirkular = 51 %. Die subjektive Erwartungskonformität war bei PTP signifikant niedriger als bei den anderen beiden Bewegungsformen.

5. Diskussion

Beide Studien zeigen übereinstimmend, dass unvorhersehbare, abrupte Bewegungen (wie PTP) mit reduziertem Vertrauen, erhöhtem Kontrollverhalten und vermindertem Situationsbewusstsein einhergehen. Die eigene Beteiligung an der Bahnprogrammierung (Studie 1) oder die Nutzung kontinuierlicher Trajektorien (Studie 2) führen zu einer kognitiv entlastenderen und subjektiv sichereren Interaktion. Diese Effekte lassen sich mit der Theorie zur Erwartungskonformität aus der ISO 9241-Reihe (Hamborg et al., 1996) sowie der Situationsbewusstseins-Theorie nach Endsley (1998) konsistent erklären.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ergebnisse unterstreichen, dass Bewegungsform und Gestaltungsmethodik entscheidende Einflussgrößen auf Sicherheit und Akzeptanz in der MRK sind. Gestaltungsempfehlungen lauten:

- Verzicht auf PTP-Trajektorien zugunsten kontinuierlicher, antizipierbarer Bewegungsformen
- Integration anthropomorpher Bewegungsprofile
- Einbindung der Nutzenden in die Bahnprogrammierung
- Berücksichtigung von Erwartungskonformität als ergonomisches Kriterium

Zukünftige Forschung sollte die beobachteten Effekte in realitätsnäheren Produktionsumgebungen validieren und um Langzeitaspekte (z. B. Gewöhnungseffekte) erweitern. Auch die Entwicklung adaptiver Roboter, die in Echtzeit auf kognitive Zustände reagieren, könnte zur Verbesserung der Interaktionsqualität beitragen.

7. Literatur

Endsley MR (1998) Design and evaluation for situation awareness enhancement. *Proc Hum Factors Ergon Soc Annu Meet* 32:97–101

Endsley MR, Garland DJ (2000) *Situation awareness analysis and measurement*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah

Dehais F, Sisbot EA, Alami R, Causse M (2011) Physiological and subjective evaluation of a human-robot object hand-over task. *Applied Ergonomics* 42:785–791

Dragan AD, Bauman S, Forlizzi J, Srinivasa SS (2015) Effects of robot motion on human-robot collaboration. In: *Proceedings of the 10th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, 51–58

Hamborg KC, Willumeit H, et al. (1996) Untersuchungen zu Itemformulierungen des IsoMetrics-Verfahrens. *Osnabrücker Schriftenreihe Software-Ergonomie* 1, Universität Osnabrück.

Hald K, Rehm M, Moeslund TB (2019) Proposing human-robot trust assessment through tracking physical apprehension signals in close-proximity human-robot collaboration. In: *Proc IEEE Int Conf Robot Human Interact Commun (RO-MAN)*

Koppenborg M, Nickel P, Naber B, Lungfiel A, Huelke M (2017) Effects of movement speed and predictability in human-robot collaboration. *Hum Factors Ergon Manuf Serv Ind* 27:197–209

Lasota PA, Shah JA (2015) Analyzing the effects of human-aware motion planning on close-proximity human-robot collaboration. *Human Factors* 57:21–33.

Müller R, Franke J, Henrich D, Kuhlenkötter B, Raatz A, Verl A (Hrsg) (2019) *Handbuch Mensch-Roboter-Kollaboration*. Hanser, München

Palmarini R, Del Amo IF, Bertolino G, Dini G, Erkoyuncu JA, Roy R, Farnsworth M (2018) Designing an AR interface to improve trust in human-robots collaboration. *Procedia CIRP* 70:350–355

Sträter O, Bengler K (2019) Positionspapier Digitalisierung der Arbeitswelt. *Z Arbwiss* 73:243–245

Mixed-Methods-Ansatz zum Vergleich von zufälliger, gezielter und partizipativer Auftragszuordnung in der Kommissionierung

Linda Maria WINGS[1], Minqi ZHANG[2], Thomas DE LOMBAERT[3], Veronika KRETSCHMER[1], Eric H. GROSSE[2], Alice KIRCHHEIM[1]

[1] Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4, D-44227 Dortmund
[2] Universität des Saarlandes, Campus, D-66123 Saarbrücken
[3] Hasselt University, Agoralaan gebouw D, BE-3590 Diepenbeek

Kurzfassung: Für eine humanzentrierte Arbeitsgestaltung in der Kommissionierung wurden ein gezieltes und ein partizipatives System der Auftragszuordnung entwickelt. Zur Untersuchung der Auswirkungen dieser soziotechnischen Systeme auf unterschiedliche Systemdimensionen wurde eine Laborstudie durchgeführt. Der Beitrag beschreibt das Studiendesign, ausgewählte Kennzahlen und eingesetzte Erhebungsmethoden sowie -verfahren zur Evaluation physischer Belastung, Beanspruchung und Systemeffizienz.

Schlüsselwörter: Logistik, Kommissionierung, Auftragszuordnung, Belastung, Zufriedenheit, Arbeitssystem

1. Motivation, Problemstellung und Forschungsziel

Zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit müssen Lagerstandorte eine hohe Systemeffizienz erbringen, deren Umsetzungserfolg maßgeblich von der Gestaltung operativer Prozesse wie der Kommissionierung abhängt. Als intralogistischer Prozess hat die Kommissionierung „das Ziel, aus einer Gesamtmenge von Gütern (Sortiment) Teilmengen aufgrund von Anforderungen (Aufträgen) zusammenzustellen“ (VDI 1994). An 80 % der Lagerstandorte in Westeuropa ist dieser Prozess im Person-zu-Ware-Prinzip organisiert (Napolitano 2012), wobei Mitarbeitende beispielsweise physischen und psychosozialen Belastungsfaktoren ausgesetzt sind (Rinkenauer et al. 2021). Individuelle Unterschiede hinsichtlich Alter, Geschlecht, Körpergröße, Qualifikationsniveau oder Präferenzen zu Entscheidungsspielräumen bedingen unterschiedliche physische und kognitive Leistungsvoraussetzungen, die wiederum einen Einfluss auf die Systemleistung haben (Schmauder & Spanner-Ulmer 2022). Ein zentraler Aspekt der Arbeitsplatzgestaltung ist daher die Berücksichtigung menschlicher Heterogenität, was bereits in existierenden Gestaltungskonzepten von Kommissioniersystemen umgesetzt ist (de Lombaert et al. 2022). Vorangegangene Forschungsarbeiten behandeln die Auftragszuordnung in der Kommissionierung und entwickelten ein gezieltes (Wings et al. 2024) sowie ein partizipatives System (de Lombaert et al. 2025), die im Gegensatz zu einer zufälligen Auftragszuordnung (ZAZ) ohne Berücksichtigung menschlicher Faktoren stehen. In einer Laborstudie wurden die Auswirkungen der zuvor genannten Systeme der Auftragszuordnung bei Anwendung im Kommissionierprozess analysiert. Dies umfasst in dieser Studie die Betrachtung physischer Belastung, Beanspruchung und Systemeffizienz. Vor diesem Hintergrund ist zu identifizieren, welche Kennzahlen und deren Erhebung zur Evaluation geeignet sind. Der Beitrag beschreibt das Studiendesign, ausgewählte

Kennzahlen und deren Operationalisierung zur Analyse der humanzentrierten und wirtschaftlichen Perspektive im Sinne des soziotechnischen Systemverständnisses (Hirsch-Kreinsen et al. 2018).

2. Humanzentrierte Systeme von Zuordnung in der Kommissionierung

Das Zuordnungsproblem in der Kommissionierung wird vordergründig zur Erfüllung von ökonomischen Zielen gelöst. Mitarbeitende sind individuell, entsprechend vielfältig sind die Ansätze zur Integration des Menschen in Optimierungsmodelle. Zur Modellierung physischer Belastung wird häufig die Energieverbrauchsrate herangezogen (Garg, Chaffin, & Herrin, 1978). Zum Beispiel Lucchese et al. (2024) nutzen diesen Ansatz in der Allokation von Aufträgen auf Personen und Battini et al. (2016) zur Allokation von Artikeln zu Lagerplätzen. Andere Arbeiten berücksichtigen bei der Zuordnung anthropometrische und soziodemografische Unterschiede zwischen Mitarbeitenden, etwa Körpergröße, Geschlecht, Alter oder Körperhaltung (z. B. Al-Araidah et al. 2021; Calzavara et al. 2019). Mit dem Einbezug individueller Fähigkeiten (Matusiak et al. 2017), Lerneffekten und Ermüdung (Gabellini et al. 2024) sowie wahrgenommener Belastung (z. B. Steinebach et al. 2022; Diefenbach et al. 2024) werden subjektive Wahrnehmungen und Erfahrung in das Planungsproblem integriert. Die nachfolgende Laborstudie evaluiert zwei entwickelte Systeme der Auftragszuordnung. Bei der gezielten Auftragszuordnung (GAZ) nach Wings et al. (2024) werden Personen- sowie Artikelmerkmale einbezogen und eine Verteilung physischer Belastung auf verfügbare Mitarbeitende angestrebt. Das System berechnet vorab einen Belastungswert für jede Auftrags-Mitarbeitenden-Kombination und nivelliert die durchschnittlichen mitarbeitendenspezifischen physischen Belastungen über eine Schicht. Die partizipative Auftragszuordnung (PAZ) nach de Lombaert et al. (2025) dahingegen überlässt Mitarbeitenden die Wahl aus präsentierten Aufträgen, wodurch Mitarbeitende mit Aufträgen zusammengeführt werden, die ihren subjektiven Präferenzen entsprechen. Als Entscheidungsunterstützung werden Informationen zu Artikel- und Lagerplatzmerkmalen auf dem Auftrag dargestellt.

3. Methoden und Studiendesign

Zur Untersuchung von Auswirkungen von GAZ und PAZ im Vergleich zur ZAZ wurde eine Laborstudie im Within-Subjects-Design durchgeführt. Teilnehmende haben die papierbasierte Kommissionierung in einem Person-zu-Ware-Setting als Single-Order-Picking je Bedingung durchgeführt. Die Evaluierung basiert auf einem Mixed-Methods-Ansatz.

3.1 Kennzahlen und Operationalisierung

Die Studie evaluiert die Auswirkungen der Systeme der Auftragszuordnung auf die physische Belastung, Beanspruchung und Systemeffizienz. Abbildung 1 zeigt eine Übersicht der adressierten Kennzahlen, Erhebungsmethoden und verwendeten Bewertungsverfahren zur Operationalisierung. Der gewählte Mixed-Methods-Ansatz kombiniert und verknüpft quantitative sowie qualitative Daten und Erhebungsmethoden gemäß dem parallelen, eingebetteten Mixed-Methods-Design (QUAN(qual)) nach Creswell & Clark (2010). Durch die Ergänzung von semi-

strukturierten Interviews mit den Teilnehmenden wird die Interpretation und Generalisierbarkeit der quantitativ erhobenen Daten im Hinblick auf das Ziel des Systemvergleichs unterstützt. Ergänzend zu den aufgelisteten Kennzahlen wurden soziodemografische Daten und Personenmerkmale wie das biologische Geschlecht, Alter, Körpergröße, Körpergewicht und die Kommissioniererfahrung erhoben. Alle Angaben sind pseudonymisiert und datenschutz- und sicherheitskonform gespeichert.

	Erhebungsmethode und Kennzahl	Bewertungsverfahren
Quantitative Daten	**Motion-Capturing-System (CAPTIV Tsens Motion)**	
	Objektive physische Belastung	Rapid Entire Body Assessment (REBA) (Hignett & McAtamney 2000)
	Abfrage je Auftragsposition	
	Wahrgenommene physische Belastung	Borg CR10 Skala (Borg 1990)
	Fragebogen je Bedingung	
	Beanspruchung (Kognitive Anforderung, Physische Anforderung, Zeitliche Anforderung, Zufriedenheit mit Leistung, Anstrengung, Frustration)	NASA-TASK LOAD INDEX (NASA TLX) (Hart & Staveland 1988)
	Gerechtigkeit	Procedural Justice (Colquitt 2001)
	Langeweile	Dutch Boredom Scale (DUBS) (Reijseger et al. 2013)
	Technologieakzeptanz	Technology Acceptance Model (TAM), Perceived Usefulness (Davis 1989)
	Zeitaufnahme und Beobachtung je Bedingung	
	Durchlaufzeit	Stoppuhr
	Kommissionierfehler	Falscher Artikel kommissioniert
Qualitative Daten	**Semi-strukturiertes Interview**	
	1. Kannst du mir deine Erfahrungen mit der Auftragszuordnung im Experiment schildern? 2. Hast du Unterschiede in der Arbeitsbelastung zwischen den 3 Durchläufen wahrgenommen? Welche? 3. Welche Aspekte der Durchläufe führten zu mehr Zufriedenheit bei der Erledigung der Aufgabe? Und welche weniger? 4. Inwieweit hat das System in den jeweiligen Durchläufen dich deiner Meinung nach unterstützt oder angeleitet? 5. Welches das System in den jeweiligen Durchläufen würdest du für die Kommissioniertätigkeit bevorzugen? Kannst du die drei Systemen in den jeweiligen Durchläufen in eine Reihenfolge bringen? 6. Stell dir vor, du könntest dein eigenes System zur Aufgabenzuordnung entwickeln. Wie würde dieses aussehen? 7. Schätze bitte ein, welche Vorteile sich durch die 3 Systeme der Auftragszuordnung ergeben haben – Flexibilität, Ausführungszeit, Arbeitsqualität, Erlernbarkeit, Arbeitssicherheit, Gesundheit, Entscheidungsunterstützung, Arbeitszufriedenheit, krankheitsbedingte Ausfallzeit, Alter, Lebensdauer	

Abbildung 1: *Übersicht zu Kennzahlen, Erhebungsmethoden und Bewertungsverfahren.*

3.2 Versuchsablauf und -aufbau

Zur Vorbereitung der Laborstudie wurden 30 Teilnehmende anhand von Personenmerkmalen (Alter, Geschlecht, Körpergröße) in drei hinsichtlich dieser Merkmale vergleichbare Gruppen eingeteilt. Innerhalb der drei Gruppen, die zugleich Schichten darstellen, erfolgte die Allokation von 150 Aufträge je Gruppe. Dabei kamen ein Excel-basierter Zufallsgenerator (ZAZ), die von Wings et al. (2024) entwickelte Methode zur GAZ und die PAZ nach de Lombaert et al. (2025) zum Einsatz. Pro Person wurden 14 bis 17 Aufträge je Bedingung zugeordnet. Vorab wurden die systemisch erstellten Auftragszuordnungen auf Machbarkeit und Gefährdung manuell durch die Versuchsleitung gesichtet und zur Prävention von Überlastung bei Bedarf angepasst. Bei den Bedingungen der ZAZ und der GAZ wurden den Teilnehmenden die Aufträge einzeln in einer zufälligen Reihenfolge zur sequenziellen Bearbeitung präsentiert. Bei der Bedingung PAZ hatten Teilnehmende die Wahl zwischen zwei vorgelegten Aufträgen, die nach Auswahl durch die Versuchsleitung zufällig variiert wurden. Abbildung 2 stellt den Versuchsablauf dar. Nach Information über die eingesetzten Systeme, Kennzahlen, Pseudonymisierung der Daten und Studienablauf sowie Unterzeichnung der Einverständniserklärung begann die Laborstudie. Zunächst absolvierten die Teilnehmenden eine Trainingsphase, um sich mit dem Kommissionierprozess vertraut zu machen.

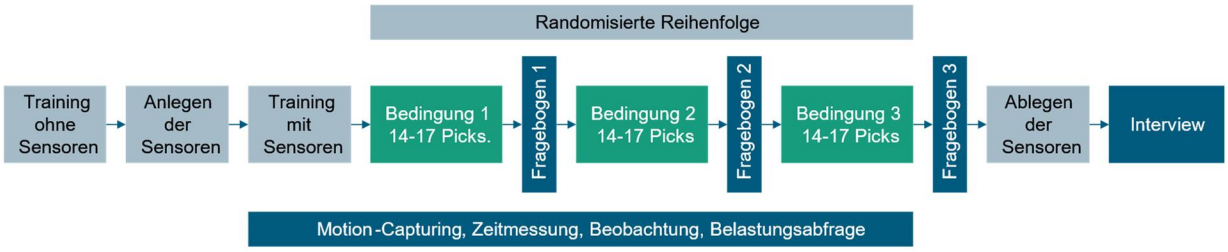


Abbildung 2: *Versuchsablauf.*

Anschließend wurde dem oder der Teilnehmenden die Sensoren eines Motion-Capturing-Systems angelegt, die Sensoren kalibriert und es folgte eine weitere Trainingsphase sowie bedarfsweise Justierung der Sensoren. Danach absolvierten die Teilnehmenden drei ca. 6-minütige Bedingungen (MW=6,17min, SD=1,44min, Range=3,7-10,8min). Während des Kommissioniervorgangs wurden Daten zu Bewegungen, Bearbeitungszeiten, Belastungen und Fehlern aufgenommen. Jede abgeschlossene Bedingung wurde von den Teilnehmenden mit einem Fragebogen bewertet. Die Reihenfolge der Bedingungen war randomisiert. Nach Abschluss der letzten Bedingung und Befragung wurden die Sensoren abgelegt, und abschließend führte die Versuchsleitung ein semi-strukturiertes Interview mit den Teilnehmenden durch. Zur Vermeidung von Beeinflussung durch die Versuchsleitung war eine neutrale, projektunabhängige Person durchgängig anwesend. Die Laborstudie wurde im Picking Lab, einer praxisnahen Laborumgebung am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, durchgeführt (Kretschmer et al. 2023). Abbildung 3 zeigt das Fachbodenregal mit vier Gängen und sieben genutzten Regalen (Regalbreite = ± 0,86m), die jeweils in 4 Regalelemente und Ebenen unterteilt sind. Der Aufbau ermöglicht eine Stichgangstrategie.

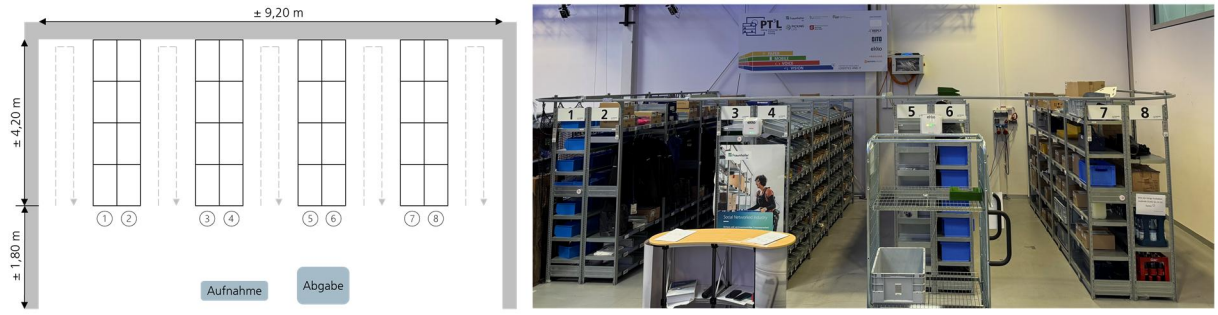


Abbildung 3: *Layout des Versuchsaufbaus im Picking Lab am Fraunhofer IML.*

Für die Laborstudie wurden 150 verschiedene Artikel genutzt, welche artikelrein und statisch an den Lagerplätzen gelagert sind. Das Artikelspektrum weist eine Diversität hinsichtlich des Gewichts (MW=2,42kg, SD=3,61, Range=0,0012-12kg), der Greifhöhe (MW=101,76cm, SD=53,40, Range=16-195cm), des Laufweges von der Auftragsaufnahme aus (MW=4,01m, SD=1,57, Range=1-7m) sowie des Volumens (MW=0,008m^3, SD=0,01, Range=0,000001-0,056m^3) auf. Ein Kommissionierwagen vor dem Kommissionierbereich diente als Abgabeort, die Aufträge wurden auf einem Tisch bereitgestellt und aufgenommen. Ein Auftrag bestand aus einem Artikel. Neben den Angaben zum Lagerplatz, Anzahl, Artikelnummer und -bezeichnung beinhaltete die Auftragsübersicht zusätzliche Informationen zum Lagerplatz (Laufweg, Greifhöhe) und Artikel (Gewicht). An einem abseitsstehenden Tisch und Stuhl fand das Ausfüllen der Fragebögen wie auch das Interview statt.

4. Diskussion und Ausblick

Zur Evaluation der humanzentrierten Systeme der Auftragszuordnung GAZ und PAZ inkludiert der Mixed-Methods-Ansatz objektive wie auch subjektive Datenerhebungen in einem Studiendesign. Mit der Standardisierung des Versuchsablaufs und Begleitung durch eine neutrale Person als Ergänzung zur Versuchsleitung ist eine kontrollierte Interaktion mit den Teilnehmenden und einheitliche Informationsbereitstellung sichergestellt. Die Anwendung gewählter Methoden bedingt nicht nur die vergleichbare Datenerhebung, sondern auch Auswertung wie auch Interpretation und kommt einer Verzerrung durch subjektive Einflüsse zuvor. Neben der Objektivität trägt die Kombination aus etablierten Methoden sowohl zu einer hohen Zuverlässigkeit als auch Validität der Ergebnisse bei. Die Hauptkennzahlen, physische Belastung, Beanspruchung und Systemeffizienz, werden mithilfe objektiv und subjektiv erhobener Messgrößen untersucht. Mittels NASA-TLX wird die Beanspruchung über einen Gesamtwert als auch sechs Dimensionen je Auftrag differenziert. Motion-Capturing und die Borg-Skala ergänzen den Bezug zum Auftrag über die Erhebung der physischen Belastung und Beanspruchung je kommissionierter Auftragsposition. Der Einsatz von Motion-Capturing führt zu objektiven Belastungsdaten. Die Verbindung quantitativer und qualitativer Daten ermöglicht eine umfassende Betrachtung der Belastung für Kommissionierende, erhöht das Verständnis der Ergebnisse und stärkt deren Validität. Neben der humanzentrierten Perspektive vervollständigt die Erhebung von Produktivitäts- und Qualitätskennzahlen die Evaluation der Effizienz des gesamten Kommissioniersystems. Somit liefert die Laborstudie Daten, die sowohl für die Optimierung der Arbeitsbedingungen als auch für die Verbesserung von Effizienz und Qualität nutzbar sind. Dennoch bestehen Limitationen im Studiendesign. Die kurze Durchführungsdauer der einzelnen Bedingungen begrenzt die Aussagekraft in Bezug auf Kennzahlen, die erst über einen längeren Zeitraum verlässliche Muster zeigen. Zudem verfügten die teilnehmenden Personen zwar über logistisches Fachwissen, jedoch kaum über praktische Kommissioniererfahrung. Dies könnte die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf erfahrene Fachkräfte einschränken. Auch die relativ geringe Stichprobengröße limitiert die Generalisierbarkeit, wenngleich die multiperspektivische Betrachtung und der Methodenmix dem entgegenwirken. Zukünftig werden die erhobenen Daten ausgewertet. Aufbauend auf der Laborstudie ist für eine erhöhte Praxisrelevanz der Ergebnisse eine anschließende Feldstudie in einem Industrieunternehmen sinnvoll, das bereits eine ZAZ im Einsatz hat.

5. Literatur

Al-Araidah, O., Okudan-Kremer, G., Gunay, E. E. & Chu, C.-Y. (2021). A Monte Carlo simulation to estimate fatigue allowance for female order pickers in high traffic manual picking systems. *International Journal of Production Research*, *59*(15), 4711–4722. doi: 10.1080/00207543.2020.1770357

Battini, D., Glock, C. H., Grosse, E. H., Persona, A. & Sgarbossa, F. (2016). Human energy expenditure in order picking storage assignment: A bi-objective method. *Computers & Industrial Engineering*, *94*, 147–157. doi: 10.1016/j.cie.2016.01.020

Borg, G. (1990). Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scandinavian journal of work, environment & health*, *16*(1), 55–58. doi: 10.5271/sjweh.1815

Calzavara, M., Glock, C. H., Grosse, E. H. & Sgarbossa, F. (2019). An integrated storage assignment method for manual order picking warehouses considering cost, workload and posture. *International Journal of Production Research*, *57*(8), 2392-2408. doi: 10.1080/00207543.2018.1518609

Creswell, J. W. & Plano Clark, V. L. (2011). *Designing and conducting mixed methods research*. Sage Publications.

Colquitt, J. A. (2001). On the Dimensionality of Organizational Justice: A Construct Validation of a Measure. *Journal of Applied Psychology*, *86*(3), 386–400. doi: 10.1037/0021-9010.86.3.386

Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, *13*(3), 319–340.

de Lombaert, T., Braekers, K., de Koster, R., Lizin, S. & Ramaekers, K. (2025). Eliciting and integrating order picker preferences in the evaluation of job assignment mechanisms in warehousing. *Computers & Industrial Engineering*, *211*, 111613. doi: 10.1016/j.cie.2025.111613

de Lombaert, T., Braekers, K., de Koster, R. & Ramaekers, K. (2022). In pursuit of humanised order picking planning: methodological review, literature classification and input from practice. *International Journal of Production Research*, *61*(10), 3300–3330. doi: 0.1080/00207543.2022.2079437

Diefenbach, H., Grosse, E. H. & Glock, C. H. (2024). Human-and-cost-centric storage assignment optimization in picker-to-parts warehouses. *European Journal of Operational Research*, *315*(3), 1049–1068. doi: 10.1016/j.ejor.2024.01.033

Gabellini, M., Calabrese, F., Regattieri, A., Loske, D. & Klumpp, M. (2024). A hybrid approach integrating genetic algorithm and machine learning to solve the order picking batch assignment problem considering learning and fatigue of pickers. *Computers & Industrial Engineering*, *191*, 110175. doi: 10.1016/j.cie.2024.110175

Garg, A., Chaffin, D. B. & Herrin, G. D. (1978). Prediction of metabolic rates for manual materials handling jobs. *American Industrial Hygiene Association journal*, *39*(8), 661–674. doi: 10.1080/0002889778507831

Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). *Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research.*

Hignett, S. & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*(31), 201–205.

Hirsch-Kreinsen, H., Hompel, M. ten, Ittermann, P., Dregger, J., Niehaus, J., Kirks, T. & Mättig, B. (2018). „Social Manufacturing and Logistics“ – Arbeit in der digitalisierten Produktion. In S. Wischmann & E. A. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung* (S. 175–194). Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-662-49266-6_13

Kretschmer, V., Wings, L. M. & Kinne, S. Das Picking Lab – Technologie, Transfer und Training für die Kommissionierung. In GfA Sankt Augustin (Hrsg.), *GfA Frühjahrskongress 2023,* Hannover.

Lucchese, Andrea, Digiesi, Salvatore & Sgarbossa, F. (2024). Human-centric optimisation in manual picker-to-parts systems: a holistic energy expenditure approach. *International Journal of Production Research.* Vorab-Onlinepublikation. doi: 10.1080/00207543.2024.2406023

Matusiak, M., de Koster, R. & Saarinen, J. (2017). Utilizing individual picker skills to improve order batching in a warehouse. *European Journal of Operational Research*, *263*(3), 888–899. doi: 10.1016/j.ejor.2017.05.002

Napolitano, M. (2012). Warehouse/DC operations survey: Mixed signals. *Logistics Management*, *11*(51), 48–56.

Reijseger, G., Schaufeli, W. B., Peeters, M. C. W., Taris, T. W., van Beek, I. & Ouweneel, E. (2013). Watching the paint dry at work: psychometric examination of the Dutch Boredom Scale. *Anxiety, stress, and coping*, *26*(5), 508–525. https://doi.org/10.1080/10615806.2012.720676

Rinkenauer, G., Reiser, J. E., Renker, J. & Kretschmer, V. (2021). Intralogistik im Zeitalter des digitalen Wandels: Arbeitsanforderungen und psychische Beanspruchung in der Kommissionierung am Beispiel eines Unternehmens aus dem E-Commerce-Bereich. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, *75*(3), 266–281. doi: 10.1007/s41449-021-00285-4

Steinebach, T., Wakula, J., Diefenbach, H., Glock, C. & Grosse, E. H. (2022). Ergonomic parameters considering physical workload for optimization models in manual order picking. In *AHFE International, Physical Ergonomics and Human Factors.* AHFE International. doi: 10.54941/ahfe1002611

Schmauder, M. & Spanner-Ulmer, B. (2022). *Ergonomie: Grundlagen zur Interaktion von Mensch, Technik und Organisation*. Hanser. doi: 10.3139/9783446473584

VDI (1994). *Kommissioniersysteme: Grundlagen* (3590-1). Beuth Verlag GmbH.

Wings, L. M., Foot, H., Taschner, P., Kretschmer, V. & Riester, M. (2024). Distribution of physical workload with an ergonomic order assignment. *IFAC-PapersOnLine*, *58*(19), 205–210. doi: 10.1016/j.ifacol.2024.09.161

Partizipation und Mitgestaltung: Peers als Akteure betrieblicher Mental-Health-Strategien

Monika MÖHLENKAMP

Initiative zur sozialen Rehabilitation e.V., Abteilung FOKUS
Travemünder Str. 3, D-28219 Bremen

Kurzfassung: Psychische Belastungen und Erkrankungen gewinnen im Arbeitskontext zunehmend an Bedeutung und konfrontieren Betriebe mit hohen Anforderungen. Der Beitrag beschreibt einen Ansatz in dem Peers, die eigene psychische Erkrankungen erfahren und eine Qualifizierung zur EX-IN Genesungsbegleitung absolviert haben, in betriebliche Strategien zur Prävention und Wiedereingliederung einbezogen werden. Dieser partizipative Ansatz wird innerhalb des Projektes *RessourcE* erprobt. Am Beispiel der Branchen Pflege und Logistik werden peerbasierte Fortbildungs-, Beratungs- und Unterstützungsformate entwickelt, welche Führungskräfte und Beschäftigte in Einfacharbeit adressieren und zur Enttabuisierung, Handlungssicherheit und Unterstützung von Wiedereingliederungsprozessen beitragen sollen.

Schlüsselwörter: Peer, psychische Gesundheit, Führungskräfte, Einfacharbeit, betriebliche Gesundheitsförderung, Wiedereingliederung

1. Einleitung

Die zunehmende Zahl psychischer Erkrankungen in der Erwerbsbevölkerung stellt eine wachsende Herausforderung für Unternehmen und Beschäftigte dar. Steigende Arbeitsunfähigkeitszeiten verdeutlichen den Handlungsbedarf betriebliche Strategien zur Förderung psychischer Gesundheit weiterzuentwickeln (DAK Gesundheitsreport 2023). Trotz signifikanter Fortschritte in der betrieblichen Gesundheitsförderung im Bereich psychische Gesundheit bestehen Tabuisierung und Stigmatisierung psychischer Erkrankungen fort, so dass eine frühzeitige Unterstützung oft nicht möglich ist. Betroffene leiden häufig unter Selbststigmatisierung sowie Scham und Schuldgefühlen (Rüsch 2021, S. 85), was ein frühzeitiges Ansprechen zusätzlich erschwert.

Die Initiative zur sozialen Rehabilitation e.V. entwickelt und erprobt im Rahmen des vom BMFTR geförderten Projekts **RessourcE** arbeitspraktische Angebote zur Förderung der Arbeitsfähigkeit von Beschäftigten in Einfacharbeit zunächst im Bereich Pflege. Dabei werden Peers als Partner*innen in die Gestaltung und Umsetzung betrieblicher Maßnahmen aktiv einbezogen. Ziel ist es, praxisnahe und nachhaltig wirksame Ansätze zur Stärkung von Gesundheit, Teilhabe und Beschäftigungsfähigkeit zu entwickeln, die bestehende betriebliche Angebote sinnvoll ergänzen.

2. Das Projekt RessourcE

Das Verbundprojekt „RessourcenEntwicklung in Dienstleistungsarbeit – RessourcE“ zielt auf den Aufbau und die Verstetigung von Kompetenzzentren in der Region NordWest. Innerhalb der Kompetenzzentren sollen Gestaltungslösungen für gute Arbeits- und Entwicklungsperspektiven für Mitarbeitende in einfacharbeitsintensiven Branchen erarbeitet und erprobt werden. Als Einfacharbeit sind Tätigkeiten bezeichnet, die keine formale Qualifikation oder Berufsausbildung voraussetzen. Im ersten Schritt beziehen sich die Dienstleistungen auf die Branchen Logistik und gesundheitsbezogene Dienstleistungen.

Im Rahmen des Projektes werden von der Initiative zur sozialen Rehabilitation e.V. in der Abteilung FOKUS Lösungen in der Pflege und Logistik entwickelt, um Mitarbeitende in Einfacharbeit nach psychischer Erkrankung oder psychischer Krise zu unterstützen und ihre Beschäftigungsfähigkeit zu fördern. Dabei werden Schulungen und Beratungssettings zur Sensibilisierung und Kompetenzentwicklung entwickelt und erprobt. Diese sind auf Führungskräfte, betriebliche Interessensvertretungen und auf die Beschäftigten selbst zugeschnitten. In die Entwicklung und Anwendung dieser Lösungen sind Peers eingebunden. Sie bringen eigene Erfahrungen von psychischer Erkrankung im Kontext von Arbeit mit ein. Im Fortlauf des Projektes von 2023-2028 entstehen evaluierte Schulungs- und Beratungsformate, die eine nachhaltige Anwendung auch in anderen Branchen erfahren sollen.

3. EX-IN Genesungsbegleitung als qualifizierte Peers

Im Projekt RessourcE sind Peers eingebunden, die eine Qualifizierung zur EX-IN-Genesungbegleitung absolviert haben. Die Abkürzung EX-IN steht für „EXperienced INvolvement“ und bezeichnet die Einbeziehung von Erfahrungswissen Betroffener. Das Konzept geht auf das gleichnamige europäische Leonardo-da-Vinci-Projekt von 2005–2007 zurück (Projects and Products Portal for Leonardo da Vinci, 2005). Ziel dieses Projekts war es die Beteiligung von Peers als Genesungsbegleitende in der psychosozialen Versorgung durch die Professionalisierung von Expert*innen aus Erfahrung strukturell zu verankern.

Die Absolvierenden der EX-IN-Qualifizierung werden auf eine Tätigkeit als Teammitglieder*innen in unterschiedlichen Feldern der sozialpsychiatrischen Versorgung vorbereitet. Diese umfassen unter anderem psychiatrische Kliniken, komplementäre Dienste, Beratungsangebote sowie Einsätze in Fort- und Weiterbildungen, in der Angehörigen- und Öffentlichkeitsarbeit und in partizipativen Forschungsprojekten (Bauer, 2025, S. 11). Innerhalb der Qualifizierung ist die Auseinandersetzung mit der eigenen psychischen Erkrankung sowie mit den damit verbundenen gesellschaftlichen Folgen von zentraler Bedeutung. Die Erfahrungen von Ausgrenzung und Stigmatisierung erfahren dabei einen besonderen Stellenwert (vgl. Koster & van Haaster, 2005). Die reflektierte Erfahrung der eigenen Genesung bildet die Grundlage der Qualifizierung und orientiert sich an Konzepten wie Recovery, Empowerment und Salutogenese (vgl. Utschakowski et al, 2016, S. 22)

Partizipation und Mitgestaltung von EX-IN-Genesungsbegleitenden innerhalb des psychosozialen Hilfesystem zeigen positive Effekte sowohl für Dienste, deren Nutzenden, als auch für multiprofessionelle Teams (vgl. Bauer, 2025, S. 253). Diese Effekte äußern sich unter anderem in einer Erweiterung professioneller Perspektiven

auf psychische Erkrankungen sowie in der Vermittlung von Hoffnung und Selbstwirksamkeit für die Betroffenen (vgl. ebd, S. 254). Dies wirkt sich sowohl auf Fachkräfte als auch auf Nutzenden aus und unterstützt den Umgang mit Vorurteilen und Stigmatisierung (vgl. ebd., S. 243). EX-IN-Genesungsbegleitende bekommen darüber hinaus einen eigenständigen Zugang zu Betroffenen und Angehörigen und tragen zu einem beschleunigten Beziehungsaufbau bei (vgl. ebd., S. 262). In der Folge können Zugangsbarrieren abgebaut und inklusive Prozesse gefördert werden.

Die Initiative zur sozialen Rehabilitation e. V. qualifiziert seit dem Jahr 2004 Menschen mit psychischer Krisenerfahrung zu EX-IN Genesungsbegleitenden. Diese finden in der Abteilung FOKUS Tätigkeitsfelder in Projekten und Angeboten im Kontext von Arbeit. Sie sind unter anderem als Co-Dozierende, Peerberatende und Projektmitarbeitende tätig (vgl. BAR, 2025). Auswertungen zeigen, dass die positiven Erfahrungen aus dem psychosozialen Hilfesystem auch im Kontext von Erwerbsarbeit nutzbar gemacht werden können.

4. Erste Erprobung der Lösungsansätze im Projekt RessourcE

Auf Grundlage der Bedarfsanalyse bei den Praxispartnern im Pflegebereich wurden im Projekt *RessourcE* erste Lösungsansätze zur Förderung der Arbeitsfähigkeit von Mitarbeitenden in Einfacharbeit mit psychischen Gesundheitsproblemen entwickelt. Diese adressieren sowohl individuelle als auch organisationale Ebenen und lassen sich in drei zentrale Handlungsfelder gliedern: die Entwicklung von Führungskompetenzen, barrierearme Unterstützungsangebote im Sinne der Tertiärprävention für Mitarbeitende, sowie die Förderung gesundheitsförderlicher betrieblicher Strukturen und einer offenen Unternehmenskultur (vgl. Bleses & Ritter 2025, S. 26 f)

Ein zentraler Ansatzpunkt liegt in der Qualifizierung von Führungskräften. Hierzu wurden Fortbildungsformate konzipiert, die eine Sensibilisierung für psychische Erkrankungen von Mitarbeitenden zum Ziel haben. Diese Fortbildungen integrieren Erfahrungsberichte von Menschen mit psychischen Erkrankungen im Arbeitskontext und werden unter Beteiligung von EX-IN-Genesungsbegleitenden umgesetzt. Dabei werden Kompetenzen und Handlungssicherheit von Führungskräften im Hinblick auf die Förderung der Arbeitsfähigkeit psychisch beeinträchtigter Mitarbeitender entwickelt. Zur praktischen Unterstützung wurde die Entwicklung eines „psychosozialen Erste-Hilfe-Koffers“ angestoßen, der regionale und überregionale Anlaufstellen, Unterstützungsangebote sowie Handlungsempfehlungen für den Umgang mit psychischen Krisen umfasst. Zudem wird die Vernetzung von Führungskräften zu diesem Themenfeld gefördert (vgl. ebd, S.29).

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der barrierearmen Unterstützung psychisch beeinträchtigter Mitarbeitender im Sinne der Tertiärprävention, insbesondere für Beschäftigte in Einfacharbeit. Auch hier kommt der „psychosoziale Erste-Hilfe-Koffer“ zum Einsatz, angepasst an die Bedürfnisse der Mitarbeitenden. Dieser beinhaltet betriebsinterne sowie externe Unterstützungsangebote und niedrigschwellige Selbsthilfetools zur Krisenbewältigung. Ergänzend werden Fortbildungen angeboten, die den sicheren Umgang mit psychisch beeinträchtigten Nutzenden von Pflegeangeboten fördern und so zur Reduktion arbeitsbedingter Belastungen der Mitarbeitenden beitragen. Perspektivisch ist ein Aufbau einer niederschwelligen Peer-to-Peer-Beratung für Betriebe vorgesehen (vgl. ebd, S.29).

Die Lösungsansätze zielen darüber hinaus auf die Förderung gesundheitsförderlicher betrieblicher Strukturen und einer offenen Unternehmenskultur ab. Durch Fortbildungen und Informationsmaterialien für alle Mitarbeitenden sollen Unsicherheiten und mögliche Vorurteile gegenüber psychischen Erkrankungen abgebaut werden. Gleichzeitig wird der Zugang zu betrieblichen Unterstützungsangeboten, insbesondere im Rahmen des Betrieblichen Wiedereingliederungsmanagements, durch vertrauensbildende Maßnahmen erleichtert. Die Etablierung von Strukturen für kollegiale Entlastungsgespräche, Erfahrungsaustausch nach belastenden Kontakten mit Nutzenden der Pflegeangebote, sowie regelmäßige Fallbesprechungen stellt einen weiteren wichtigen Baustein dar. Ergänzend werden betriebliche Routinen für den Umgang mit Arbeitsunfähigkeit oder Klinikaufenthalten gemeinsam mit den relevanten Akteuren im Betrieb entwickelt (vgl. ebd, S. 29).

In allen drei Schwerpunkten spielen EX-IN Genesungsbegleitende eine wichtige Rolle. Der Erste-Hilfe-Koffer wurde mit ihrer Beteiligung entwickelt. Fortbildungen für Führungskräfte sowie für Mitarbeitende werden im Tandem mit einer Fachkraft in den Fortbildungen durchgeführt. Ihre Erfahrungen von Krankheit und Genesung bereichern diese Formate. Erste Auswertungen der Fortbildungen zeigen, dass die Perspektive der Expert*innen aus Erfahrung wesentlich zur Verständlichkeit und Wirksamkeit der Inhalte beiträgt.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag verdeutlicht den steigenden Handlungsbedarf betrieblicher Mental-Health-Strategien angesichts wachsender psychischer Belastungen in der Arbeitswelt. Trotz zunehmender Sensibilisierung verhindern Tabuisierung und Stigmatisierung psychischer Erkrankungen häufig eine frühzeitige Unterstützung. Vor diesem Hintergrund zeigt das Projekt **RessourcE**, wie Partizipation und Mitgestaltung durch Peers einen wirksamen Beitrag zur Förderung psychischer Gesundheit leisten können – insbesondere in einfacharbeitsintensiven Branchen wie die Pflege.

Zentral ist die aktive Einbindung von EX-IN-Genesungsbegleitenden als Akteure betrieblicher Mental-Health-Strategien. Sie bringen ihr Erfahrungswissen systematisch in die Entwicklung, Umsetzung und Erprobung von Schulungs- und Beratungsangeboten ein. Durch ihre Mitwirkung sollen Führungskräfte und Mitarbeitende für psychische Erkrankungen sensibilisiert, Zugangsbarrieren zu Unterstützung reduziert und eine offenere Unternehmenskultur gefördert werden. Erste Erprobungen zeigen, dass partizipativ entwickelte Formate – etwa Fortbildungen oder der psychosoziale Erste-Hilfe-Koffer – praxisnah, verständlich und akzeptiert sind.

Im weiteren Projektverlauf sollen die partizipativen Ansätze weiter evaluiert, verstetigt und auf weitere Branchen übertragen werden. Die stärkere strukturelle Verankerung von Peers in betrieblichen Mental-Health-Strategien bietet das Potenzial, Prävention, Unterstützung und Wiedereingliederung nachhaltiger zu gestalten und psychische Gesundheit als gemeinschaftliche Gestaltungsaufgabe im Betrieb zu etablieren.

6. Literatur

BAR, Zeitschrift der Bundesarbeitsgemeinschaft der Rehabilitation (Hrsg.) (05/2025), Eigene Krisenerfahrung als Stärke nutzen, https://www.bar-frankfurt.de/service/reha-info-und-newsletter/reha-info-2025/reha-info-05/2025/eigene-krisenerfahrung-als-staerke-nutzen.html

Bauer, S.I. (2025) Experienced Involvement in der sozialpsychiatrischen Versorgung Deutschlands. Opladen, Berlin, Toronto: Budric Academic Press

Bleses, P., & Ritter, W. (Hrsg.). (2025). *Ressourcen und Bedarfe in Einfacharbeit: Analysen und erste Gestaltungsansätze in Logistik und Pflege im Verbundprojekt ResourcE* https://kompetenzzentrum-ressource.de/downloads/

DAK Gesundheitsreport 2023 (2024) https://www.dak.de/dak/unternehmen/reportforschung/psychreport-2025_91766

Koster, Y., & van Haaster, H. (2005) Instituut voor Gebruikersparticipatie en Beleid. Aus Erfahrung anders. Amsterdam: Nicht veröffentlichtes Manuskript, zitiert aus Utschakowski, Jörg, Zeitschrift Soziale Psychiatrie, Heft Jan 2009, Köln: DGSP e.V..

Projects and Products Portal for Leonardo da Vinci, 2005. https://erasmus- plus.ec.europa.eu/projects

Rüsch, N. (2021). Das Stigma psychischer Erkrankung - Strategien gegen Ausgrenzung und Diskriminierung. Elsevier: Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH

Utschakowski, J., Sielaff G., Bock T., Winter A., (Hg.), (2016), Experten aus Erfahrung, Peerarbeit in der Psychiatrie, Köln: Psychiatrie-Verlag

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt RessourcE wird durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) im Programm „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ (FKZ: 02L22C154) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

Flexible Arbeitsmodelle in der zerspanenden Fertigung – Betriebliche Voraussetzungen und Typologien auf Basis einer empirischen Untersuchung

Jakob WEBER[1], Marc-André WEBER[2], Sascha STOWASSER[3]

[1] KIT – Karlsruher Institut für Technologie
Kaiserstraße 12, D-76131 Karlsruhe
[2] HAW Kiel, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Kiel
Sokratesplatz 2, D-24149 Kiel
[3] ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V.
Uerdinger Straße 56, D-40474 Düsseldorf

Kurzfassung: Die zerspanende Fertigung befindet sich im Spannungsfeld zwischen technischer Prozessgebundenheit und steigenden Anforderungen an Arbeitsflexibilisierung. Demografischer Wandel, Fachkräftemangel sowie digitale und automatisierte Fertigungsprozesse eröffnen neue Gestaltungsmöglichkeiten und verändern zugleich die Erwartungen der Beschäftigten an mobile und zeitflexible Arbeitsmodelle.
Basierend auf einer quantitativen Erhebung unter 189 Führungskräften und Planungsverantwortlichen zerspanend fertigender Unternehmen in Deutschland werden die betrieblichen Voraussetzungen für die Einführung flexibler Arbeitsmodelle analysiert. Mittels binär-logistischer Regression werden zunächst zentrale Einflussfaktoren identifiziert. Darauf aufbauend differenziert eine hierarchische Clusteranalyse vier charakteristische Unternehmenstypen.
Die Regressionsanalyse identifiziert den Digitalisierungsgrad als Schlüsselfaktor für flexible Arbeitsmodelle, wobei sein Einfluss bei mobilen Arbeitsmodellen deutlich stärker ausgeprägt ist als bei zeitflexiblen. Während mobile Arbeit primär digitale Infrastrukturen erfordert, wird zeitliche Flexibilität hauptsächlich durch operative Faktoren wie Losgrößen und Bearbeitungszeiten begrenzt. Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen wurden vier Unternehmenstypen identifiziert: traditionell und reaktive Unternehmen mit geringer technischer Ausstattung, produktionsstarke aber mobilitätsferne Betriebe, digital-affine und flexibilisierungsbereite Vorreiter sowie technisch-solide, aber prozessual-träge Unternehmen.
Diese empirischen Befunde bilden die Grundlage für ein arbeitswissenschaftliches Gestaltungsmodell mit den Dimensionen Mensch, Technik, Organisation und Kultur, das cluster-spezifische Flexibilisierungsstrategien konkretisiert. Das entwickelte Modell ermöglicht eine empirisch fundierte Standortbestimmung sowie praxisorientierte Handlungsempfehlungen je Cluster für die systematische Digitalisierung und organisatorische Innovationen in der industriellen Produktion.

Schlüsselwörter: Arbeitsgestaltung, Mobile Arbeit, Zeitflexibilität, Produktion, Digitalisierung, MTOK-Modell

1. Einleitung

Die Gestaltung menschengerechter Arbeit unter Berücksichtigung von Handlungsspielräumen bildet einen Kernbereich der Arbeitswissenschaft. Während sich in administrativen Bereichen flexible Arbeitsmodelle weitgehend etabliert haben (Lindner 2022), bleiben operative Produktionsbereiche davon bislang meist ausgeschlossen (Bath et al. 2023). Diese Diskrepanz entwickelt sich angesichts des demografischen Wandels und des Fachkräftemangels zu einem strategischen Risiko für produzierende Unternehmen (Peichl et al. 2025).

Gleichzeitig eröffnen neue Technologien massive Gestaltungspotenziale für die zerspanende Fertigung. Durch die Vernetzung von Produktionssystemen auf Basis digitaler Zwillinge (cyber-physische Systeme) sowie die Automatisierung repetitiver manueller Tätigkeiten entstehen neue Gestaltungspotenziale zwischen physischer Präsenz und wertschöpfender Tätigkeit. Das zentrale arbeitswissenschaftliche Dilemma besteht jedoch in der Frage, wie Arbeitsautonomie mit den technischen Restriktionen der Zerspanung vereinbar ist. Bislang fehlt hier systematische empirische Evidenz für differenzierte Gestaltungsstrategien, die über reine „Leuchtturm-Projekte“ hinausgehen.

Die vorliegende Untersuchung adressiert diese Forschungslücke durch eine quantitative Analyse betrieblicher Voraussetzungen. Im Zentrum stehen drei Forschungsfragen:

1. Welche Faktoren determinieren die Einführung mobiler und/oder zeitflexibler Arbeitsmodelle speziell in der zerspanenden Fertigung?
2. Lassen sich charakteristische Unternehmenstypen identifizieren, anhand derer die Einsatzmöglichkeiten mobiler und/oder zeitflexibler Arbeitsmodelle in der zerspanenden Fertigung geclustert werden können?
3. Welche Transformationsstrategien ergeben sich für die praxisorientierte Gestaltung je Unternehmenstyp?

2. Theoretischer Bezugsrahmen und Methodik

Die soziotechnische Systemtheorie hebt die wechselseitige Abhängigkeit technischer, organisatorischer und sozialer Komponenten bei der Gestaltung von Arbeitssystemen hervor. Zentral ist die Prämisse, dass nur eine gemeinsame Optimierung aller Systemelemente zu stabilen und leistungsfähigen Arbeitssystemen führt (Ulich 2013). Eine einseitige Technisierung ohne Berücksichtigung der sozialen Dimension erzeugt strukturelle Ungleichgewichte.

Schuh et al. (2024) erweitern diesen Ansatz maßgeblich, indem sie die Unternehmenskultur als vierte, kritische Dimension für die Einführung flexibler Arbeitsmodelle definieren. Technologische Voraussetzungen, insbesondere digital gestützte Informationssysteme, werden dabei als notwendige, jedoch nicht hinreichende Bedingung betrachtet. Im Kontext von industriell genutzter Digitalisierung entstehen so Gestaltungspotenziale zwischen Arbeitsaufgabe, -ort und -zeit. Automatisierung kann körperlich belastende Tätigkeiten substituieren, während digitale Assistenzsysteme die Informationshoheit der Beschäftigten stärken und so flexiblere Arbeitszeitmodelle erst ermöglichen.

Die Datengrundlage dieser Studie bildet eine quantitative Querschnittserhebung (standardisierte Online-Befragung) unter Führungskräften und Planungsverantwortlichen zerspanender Fertigungen in Deutschland. Der Fragebogen operationa-

lisiert 39 Items zu Strukturmerkmalen, prozessualen Charakteristika, technischer Ausstattung sowie subjektiven Einschätzungen. Im Erhebungszeitraum Februar bis April 2025 wurden 189 validierte Datensätze generiert. Die Stichprobe besteht überwiegend aus Entscheidungsträgern (49 % Geschäftsführer, 28 % Produktions-/ Fertigungsleiter) und bildet die Diversität der Betriebe ab (Schwerpunkte: Maschinenbau, Automotive, Medizintechnik). Die deskriptiven Daten zeichnen das Bild von Unternehmen, die vordergründig Kleinserienfertigungen betreiben: 45 % der Betriebe fertigen Losgrößen von 5 bis 50 Stück; bei einem Drittel liegt die Bearbeitungszeit zwischen 11 und 30 Minuten und 79 % haben weniger als 26 CNC-Werkzeugmaschinen. Technologisch zeigt sich ein heterogenes Bild: Während ein Drittel der Betriebe über keine automatisierten Werkstückwechselsysteme verfügt, setzt eine wachsende Minderheit (23 %) bereits auf umfassende Automatisierung (über 51 % automatisierter Werkzeugmaschinen). Die statistische Auswertung erfolgte zweistufig: Zunächst identifizierten binär-logistische Regressionen signifikante Prädiktoren. Darauf aufbauend generierte eine hierarchische Clusteranalyse (Ward-Verfahren mit k-Means-Optimierung) eine empirisch fundierte Typologie.

3. Empirische Befunde

3.1 Determinanten flexibler Arbeitsgestaltung

Die binär-logistische Regressionsanalyse (n=179) liefert aufschlussreiche Einblicke in die Treiber flexibler Arbeit. Das Modell zur zeitflexiblen Arbeitsgestaltung (McFadden-R^2 = 0,0871; AUC = 0,69) zeigt, dass der Digitalisierungsgrad der stärkste positive Prädiktor ist. Operative Hürden wie große Losgrößen und lange Bearbeitungszeiten wirken signifikant negativ. Bemerkenswert ist, dass der Automatisierungsgrad keinen signifikanten Einfluss (p=0,421) hat. Dies deutet darauf hin, dass die reine Automatisierung allein keine Flexibilität schafft. Erst die digitale Vernetzung und eine entsprechende Führungskultur ermöglicht diese. Das Modell zur mobilen Arbeit (McFadden-R^2 = 0,1638; AUC = 0,81) schärft dieses Bild: Hier ist der Digitalisierungsgrad der einzige signifikante Treiber. Klassische operative Faktoren (Losgröße, Bearbeitungszeit) verlieren ihre Erklärungskraft. Die Barriere für mobile Arbeit in der Produktion besteht demnach nicht im Zerspanungs-prozess selbst, sondern in einer unzureichenden digitalen Infrastruktur, die sowohl die Fernüberwachung als auch die Durchführung arbeitsvor- und nachbereitender Tätigkeiten einschränkt.

Tabelle 1: *Signifikante Regressionskoeffizienten zur Einführung flexibler Arbeit.*

Variable	Koeffizient (β)	Wald-Wert	Odds-Ratio	p-Wert
Zeitflexible Arbeitsgestaltung				
Losgröße	-0,7727	11,79	0,46	0,001
Bearbeitungszeit	-0,4920	5,53	0,61	0,019
Digitalisierungsgrad	0,5399	4,90	1,72	0,027
Mobile Arbeitsgestaltung				
Losgröße	-0,4580	0,72	0,63	0,623
Bearbeitungszeit	-0,2373	0,29	0,79	0,589
Digitalisierungsgrad	1,2315	6,44	3,43	0,011

3.2 Typologie betrieblicher Flexibilisierungspotenziale

Für die hierarchische Clusteranalyse wurden elf Variablen herangezogen, die 172 auswertbare Fälle in Bezug auf strukturelle Merkmale (u. a. Automatisierungsgrad, Losgröße, Digitalisierungsgrad) sowie Akzeptanz, Nutzen und erwarteten Aufwand flexibler Arbeitsgestaltung differenzieren. Alle Variablen wurden auf ordinalem Skalenniveau erhoben und z-standardisiert, um Verzerrungen aufgrund unterschiedlicher Skalenbreiten auszuschließen.

Die Analyse identifiziert vier charakteristische Unternehmenstypen:

Cluster 1 – Traditionell und reaktiv (24 %):
Diese Betriebe sind gekennzeichnet durch geringe Technikaffinität, hohe Prozessunsicherheit und eine niedrige Offenheit für neue Arbeitsformen. Digitale Systeme sind veraltet oder nur punktuell verfügbar. Flexible Arbeitsmodelle werden nicht genutzt und teilweise aktiv abgelehnt. Die Führung agiert hierarchisch und eher reaktiv; Veränderungsbereitschaft ist kaum vorhanden. Die Einführung flexibler Arbeit erfordert tiefgreifende technische, strukturelle und kulturelle Vorarbeiten.

Cluster 2 – Produktionsstark, aber mobilitätsfern (26 %):
Diese Betriebe verfügen über moderne Technik und stabile Prozesse, zeigen jedoch geringe Offenheit für mobile und/oder zeitflexible Arbeit. Der Fokus liegt klar auf wertschöpfungsorientierter Präsenzarbeit. Kulturelle Barrieren, zurückhaltende Führung und fehlende organisatorische Modelle verhindern Flexibilisierung. Technisch wäre Flexibilität häufig möglich, scheitert jedoch an kulturellen Einstellungen und organisationalen Strukturen.

Cluster 3 – Digital-affin und flexibilisierungsbereit (10 %):
Unternehmen dieses Typs weisen eine hohe Technikreife, stabile Prozesse und eine ausgeprägte Offenheit für neue Arbeitsformen auf. Flexible Arbeit ist bereits implementiert oder wird pilotiert. Die Führungskultur ist dialogorientiert, Beschäftigte werden aktiv beteiligt. Insgesamt bestehen sehr gute Voraussetzungen für die systematische Weiterentwicklung flexibler Arbeitsgestaltung – technisch wie kulturell.

Cluster 4 – Technisch-solide, aber prozessual-träge (30 %):
Diese Betriebe haben solide technische Grundlagen, jedoch verhindern lange Durchlaufzeiten, hohe Komplexität und geringe Umsetzungsgeschwindigkeiten die Realisierung flexibler Arbeit. Die Belegschaft ist nicht grundsätzlich ablehnend, aber es mangelt an klaren Strategien, Prozessvereinfachungen und kommunikativer Begleitung. Technik und Akzeptanz bilden eine gute Basis; entscheidend ist die Verbesserung der Prozessgestaltung.

Abbildung 1 zeigt die vier unterschiedlichen Cluster.

***Abbildung 1**: Visualisierung der vier empirisch entwickelten Cluster in Leserichtung.*

4. Diskussion und arbeitswissenschaftliche Einordnung

Die vorliegenden Ergebnisse erzwingen ein Umdenken in der Bewertung von Flexibilitätspotenzialen in der Produktion. Ein zentraler Befund ist die Interpretation der Modellgüte: Die moderaten R^2-Werte (ca. 0,09 bis 0,16) sind kein Indiz für methodische Schwäche, sondern ein inhaltliches Schlüsselergebnis. Sie belegen empirisch, dass „harte“ Faktoren (Losgrößen, Durchlaufzeiten, Maschinentypen) nur einen Bruchteil der Varianz erklären. Ob ein Unternehmen flexible Arbeit ermöglicht, entscheidet sich folglich nicht im NC-Code der Maschine, sondern auf der Ebene der „weichen“ Faktoren Organisation und Kultur.

Das aus empirischen Untersuchungen entwickelte MTOK-Gestaltungsmodell – bestehend aus den Dimensionen Mensch, Technik, Organisation und Kultur – baut auf bewährten MTO-Ansätzen der Arbeitswissenschaft auf und ergänzt diese um die Komponente Unternehmenskultur. Während traditionelle Modelle vor allem das Zusammenspiel von Mensch, Technik und Organisation berücksichtigen, zeigen aktuelle Ergebnisse, dass kulturelle Aspekte wie Führungsstil, Vertrauenskultur und Bereitschaft zu Veränderungen eine eigenständige und bedeutende Rolle bei der Umsetzung flexibler Arbeitsmodelle in der Produktion spielen. Die Einbindung der Kulturdimension spiegelt somit die wachsende Bedeutung sogenannter „weicher“ Faktoren wider und erhöht zugleich die Anschlussfähigkeit des Modells an bestehende arbeitswissenschaftliche Theorien.

Das auf den Daten basierende MTOK-Modell identifiziert anhand von 48 Indikatoren Handlungsfelder innerhalb der vier Dimensionen, ordnet Unternehmen entsprechenden Clustern zu und leitet daraus passgenaue Empfehlungen für individuelle Transformationsstrategien ab. Da Technik allein keine Flexibilisierung garantiert, müssen Transformationsstrategien ganzheitlich ansetzen:

Für Cluster 1 (Traditionell und reaktiv) liegt der Fokus auf niedrigschwelligen

Maßnahmen zur Sensibilisierung, Qualifizierung und Transparenzförderung. Vorrangig geht es um die Schaffung technischer Mindestvoraussetzungen, den Aufbau digitaler Grundstrukturen und die Förderung kultureller Anschlussfähigkeit

Für Cluster 2 (Produktionsstark, aber mobilitätsfern) liegt der Schlüssel zur Flexibilisierung in der Dimension Kultur. Statt neuer Maschinen benötigt dieses Cluster Führungskräfteentwicklung, um Präsenzkultur aufzubrechen (z. B. durch Einführung digitaler Schichtübergaben).

Für Cluster 3 (Digital-affin und flexibilisierungsbereit) liegt die Maßnahmenableitung auf Konsolidierung und Skalierung: erfolgreiche Pilotprojekte sollen verstetigt, kulturelle Reflexionsprozesse gefördert und Innovationsräume für neue Arbeitsmodelle institutionell verankert werden.

Für Cluster 4 (Technisch-solide, aber prozessual-träge) liegt der Fokus auf der Dimension Organisation. Hier muss Prozessvereinfachung vor Flexibilisierung gehen.

Die Limitationen der Studie (Querschnittsdesign, Fokus auf Führungskräfte) relativieren sich vor dem Hintergrund des explorativen Charakters. Das entwickelte Modell ermöglicht Unternehmen erstmals eine evidenzbasierte Standortbestimmung jenseits reiner Bauchgefühle.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchung widerlegt die Annahme, dass die Produktion und speziell die zerspanende Fertigung per se unflexibel ist für zeit- und/oder ortsflexibles Arbeiten. Die Realisierung mobiler und zeitflexibler Arbeit korreliert signifikant mit der digitalen Reife, wird jedoch erst durch kulturelle und organisatorische Rahmenbedingungen wirksam. Die Identifikation der vier Unternehmenstypen zeigt, dass es keine einheitliche oder allgemeine Lösung gibt. Während Cluster 3 bereits mobile und zeitflexible Konzepte adaptiert, scheitern andere Betriebe nicht an der Technik, sondern an veralteten Führungsvorstellungen.

Das derzeit erarbeitete MTOK-Modell schließt die Lücke zwischen theoretischem Potenzial und betrieblicher Praxis. Es bietet einen systematischen Rahmen, um typspezifische Blockaden zu lösen. Für die Arbeitswissenschaft bedeutet dies: Der Fokus muss sich von der reinen Ergonomie und Technikgestaltung hin zu einer integrierten Organisations- und Kulturentwicklung in der Produktion verschieben. Unternehmen, die diese Transformation meistern, stärken nicht nur ihre Resilienz, sondern sichern sich im Wettbewerb um Fachkräfte entscheidende Vorteile.

6. Literatur

Bath J, Rieger K, Kolodziej V (2023) Herausforderungen hybrider Arbeitsmodelle in KMU im Vergleich zu Großunternehmen. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 77(4):593–608.

Lindner D (2022) Hybride Arbeitswelt: Empfehlungen für die Arbeit zwischen Home und Office. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Peichl A, Sauer S, Wohlrabe K (2025) Arbeits- und Fachkräftemangel – aktuelle Lage und Projektionen im europäischen Vergleich. Ifo Schnelldienst 3/2025.

Schuh G, Herkenrath C, Boos W, Hoeborn G, Böning J (2024) How to establish a lasting remote work concept in organizations: A classification for the operational design of remote work. In: Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). Honolulu, 767–776.

Ulich E (2013) Arbeitssysteme als Soziotechnische Systeme – eine Erinnerung. Zürich: Institut für Arbeitsforschung und Organisationsberatung.

Zwischen Teamdynamik und Selbstentfaltung: Übergänge von Ingenieurinnen in MINT-Berufen

Melanie TROMMER, Eva STROBL, Simon FRONCZEK, Susann ZEINER-FINK

Arbeit, Technik und Bildung gGmbH
Neefestraße 76, D-09119 Chemnitz

Kurzfassung: Der Beitrag untersucht, wie Teampraktiken das Transitionsmanagement beim Berufseinstieg von (angehenden) Ingenieurinnen im MINT-Bereich prägen. Grundlage bilden drei narrative biografische Interviews mit (angehenden) Ingenieurinnen unterschiedlicher Erfahrungsstufen. Erste Ergebnisse identifizieren drei förderliche bzw. hemmende Praktiken: Strukturierte Einarbeitung und klare Zuständigkeiten, gelebte Kommunikations- und Unterstützungskulturen sowie informelle soziale Aktivitäten, die Zugehörigkeit, Anerkennung und Selbstwirksamkeit stärken und damit berufliche Selbstentfaltung ermöglichen.

Schlüsselwörter: Transitionsmanagement, MINT, Teampraktiken, Ingenieurinnen, Selbstentwicklung

1. Einleitung und Hinführung

Berufliche Transitionen, wie der Übergang vom Studium ins Berufsleben oder der Wechsel in neue Positionen, eröffnen neue Räume für Selbstentwicklungs- und Entfaltungspotenziale. Diese Transitionen werden inzwischen auch verstärkt in der organisations- und arbeitswissenschaftlichen Forschung untersucht. Fokus (Niemeyer-Jensen & Hinrichsen 2015; Benz-Gydat 2015; Malta et al. 2025; Sullivan & Arriss 2021).

Für weibliche Karrieren im MINT-Bereich stellt der Übergang vom Studium in den Beruf einen besonders kritischen Moment dar: Obwohl im Jahr 2022 rund 35 % der Studienanfänger*innen* in MINT-Fächern Frauen waren (Statistisches Bundesamt 2024), lag ihr Anteil unter den beschäftigten MINT-Akademikerinnen lediglich bei etwa 18 % (Stifterverband der deutschen Wirtschaft 2025). Dies deutet darauf hin, dass insbesondere in dieser Phase zentrale Weichenstellungen hinsichtlich Zugehörigkeit, Rollenoptionen und des langfristigen Verbleibs im Feld erfolgen. Vor dem Hintergrund bestehender sozialstruktureller Erklärungsansätze für die Unterrepräsentanz von Frauen in MINT-Tätigkeiten (Miner et al. 2018) wird in der vorliegenden Studie untersucht, welche Teamfaktoren auf die beruflichen Selbstentfaltungs- und Selbstentwicklungsmöglichkeiten von Frauen einwirken. Dafür wurde der tendenziell männlich dominierte MINT-Bereich als Untersuchungsfeld gewählt.

Aufbauend auf der Annahme, dass berufliche Übergänge Sozialisationsräume darstellen, in denen berufliche Rollen, Anerkennung, Zugehörigkeit u.a. durch gelebte Sozialisationspraktiken neu ausgehandelt und Karrierepläne angepasst werden richtet sich der Blick somit besonders auf die Teampraktiken und -dynamiken. Teams stellen dabei soziale Räume darin denen Anerkennung praktisch hergestellt oder verweigert

wird, Entwicklungsräume geöffnet oder begrenzt werden und Zugehörigkeit entsteht (Hof & Förster 2018; Voswinkel & Lindemann 2013).

Vor diesem Hintergrund rückt das Transitionsmanagement in den Mittelpunkt, das als arbeitsplatznaher Lernprozess in Teamstrukturen verstanden wird, in dem bestehende Rollen-, Zuständigkeits- und Ressourcenstrukturen sichtbar gemacht, reflektiert und im Arbeitsalltag tragfähig ausgehandelt werden (Dehnbostel 1998).

Mit diesem Fokus folgt das explorative Forschungsdesign einem praxeologischen Ansatz und damit der Annahme, dass Verhaltensweisen in Arrangements verknüpfter Praktiken, Erwartungen und Verhaltensweisen begründet sind (vgl. Reckwitz 2010, Krämer 2016). Unternehmenskulturen und Gleichstellung werden so nicht als formale Programme, sondern als gelebte Praktiken analysiert, die in alltäglichen Interaktionen reproduziert werden.

Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage: Wie beeinflusst das in Arbeitsteams vorherrschende Transitionsmanagement die Selbstentfaltungs- und Selbstverwirklichungsmöglichkeiten von (angehenden) Ingenieurinnen?
Um diese Frage zu beantworten, wurden Interviews mit Ingenieurinnen verschiedener Erfahrungsstufen durchgeführt.

2. Methodik

Um aufzuzeigen, wie Teampraktiken berufliche Übergänge und Entwicklungsprozesse von (angehenden) Ingenieurinnen prägen, wurde ein induktiv-rekonstruktiver Ansatz gewählt (Gehman et al. 2018). Zu diesem Zweck wurden bisher 21 von geplanten 50 biographische Interviews in narrativer Form mit (angehenden) Ingenieurinnen verschiedener Erfahrungsstufen durchgeführt, von den drei vollständig ausgewertet wurden und diesem Beitrag zu Grunde liegen (siehe Tabelle 1) (Misoch, 2019, Schütze, 2016).

***Tabelle 2**: Details der interviewten Ingenieurinnen.*

Fall-ID	**Berufserfahrung**	**Rolle/ Funktion**	**Branche**	**Unternehmens-größe**
I1S	SHK/Werk-studentinnen-tätigkeit	SHK in Produkt-entwicklung	Elektro-technik	250-499
I2BA	1-5 Jahre	Produkt-entwicklung	Textil und Bekleidung	50-249
I3BE	16-20 Jahre	Führungskraft, Produktenwicklung	Chemie	250-499

Im Rahmen der Interviews wurden die Befragten aufgefordert, ihre berufliche Biographie narrativ zu erzählen. An den Stellen, an denen vertiefende Informationen zu erwarten waren, wurden gezielte Nachfragen gestellt, u.a. zu Wahrnehmungen von Führungsverhalten, Teamklima und erlebter Unterstützung.

Die transkribierten Interviews wurden anschließend mithilfe von MAXQDA in Anlehnung an die Gioia-Methode induktiv ausgewertet. Dabei wurden relevante Passagen der Interviews ohne theoretische Vorannahmen codiert, um die First-order-

concepts zu erstellen (Gioia et al., 2013). Diese Konzepte wurden danach gebündelt und verschiedenen Second-order-themes zugeordnet, welche wiederum zu drei Dimensionen aggregiert wurden (Gioia et al., 2013).

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Auswertung weisen darauf hin, dass in der Frühphase der Karriere drei zentrale soziale Praktiken identifiziert werden können, die zur nachhaltigen Verankerung von Selbstentwicklungs- und Selbstentfaltungsmöglichkeiten von (angehenden) MINT-Akademikerinnen in Unternehmen und Teams beitragen: (1) Einarbeitungsprozesse in zugewiesene Aufgaben sowie Aufgaben- und Zuständigkeitsregelungen, die Entfaltung fördern, aber auch hemmen können, (2) gelebte Kommunikations- und Unterstützungspraxis sowie (3) informelle soziale Praktiken als Verstärker.

3.1 Einarbeitungsprozesse sowie Aufgaben- und Zuständigkeitsregelungen

Klare Einarbeitungsprozesse sowie Aufgaben- und Zuständigkeitsregelungen besonders in der Anfangszeit sorgen bei den Befragten für Struktur und Orientierung. Dabei fanden einige klare Prozesse im Unternehmen, andere nicht:

> *„Klare, auch relativ klare Aufgabenstellung wäre schon nicht schlecht. […] Eine qualifizierte Einarbeitung in einigen Bereichen. Also eine Willkommenskultur, die den Namen auch verdient.“ (I3BE)*

> *„[…Das] war eine Bomben-Einarbeitung und die haben mich damit rangeführt und mich lange auch begleitet und das war wirklich eine gute Teamarbeit.“ (I2BA)*

Die Möglichkeit der Bearbeitung von fordernden Aufgaben und das entgegengebrachte Vertrauen, wird als motivierend empfunden:

> *„Und was dann halt cool war, war, wenn man mal ein bisschen mehr zugetraut bekommen hat. Also auch als Praktikantin durfte ich dann irgendwann mal so eine Bauvorbereitung schreiben und nicht nur Lieferscheine einsortieren. Also je anspruchsvoller oder herausfordernder die Aufgaben, desto motivierter war ich.“ (I1S)*

3.2 Gelebte Kommunikation und Unterstützungspraxis

Besonders wird die gelebte Unterstützungspraxis sichtbar bei der im Team vorherrschenden Kommunikation.:

> *„Und […] ich habe gemerkt, dass je jünger die sind, desto eher haben sie auch so eine gute Feedback-Kultur. Also, dass dann auch eben mal gelobt wird, dass nicht nur kritisiert wird, dass man […] auch Feedback zurückgeben darf. […] dadurch hatte ich da eigentlich auch durchweg positive […] Erfahrungen.“ (I1S)*

> *„Da waren die Abteilungsleiter, gut die Professoren hat man noch gesiezt, aber die Abteilungsleiter hat man auch geduzt, aber es waren trotzdem diejenigen, wo man wusste, das sind die Chefs. Also niemals respektlos, aber lockerer Umgang, aber nie respektlos.“ (I3BE)*

Ist die Duz-Kultur nicht für alle Teammitglieder gültig und muss individuell ausgehandelt werden, kann dies laut den Befragten zu Irritationen bzw. Unsicherheiten auslösen:

> *„[…], also meine Laborantin, die hat sich nach zehn Jahren, als wir dann zusammen in dem Gremium waren, [unter der Prämisse] „aber sag es nicht draußen. Sonst denken die, wir mauscheln irgendwas.“ [getraut] mich zu duzen. Aber so diese, es ist sehr, sehr schwierig hier.“ (I3BE)*

Darüber hinaus zeigt sich, dass Ungleichheitsdimensionen wie Geschlecht oder Alter den Umgang untereinander beeinflussen:

> *„Schon allein dieses einem nicht in die Augen schauen können, nicht wirklich die Hand geben können, begrüßen können. […] Und es sind auch häufig manchmal gar nicht so die Älteren, sondern tatsächlich eher so Jüngere in meinem Alter oder die ins mittlere Alter gehen, die damit irgendwie einen Struggle haben.“ (I2BA)*

3.3 Informelle soziale Praktiken als Verstärker

Ein Zitat einer Berufsanfängerin macht sehr deutlich, dass auch andere Bezugsrahmen außerhalb der Arbeit (bspw. gemeinsame private Unternehmungen) Bindungsgefühle verstärken, Wertschätzung vermitteln und Motivation steigern können:

> *„[Durch] Kollegen und auch durch Vorgesetzte auf jeden Fall. Also man hatte so ein sehr gutes Verhältnis zueinander. Man hat sich zum Teil privat getroffen. Ich hatte eine Chefin, die hat ihre Arbeitsgruppe immer eingeladen zu Weihnachten zu sich nach Hause, hat gekocht für alle. […] Als Kollegen waren wir auf einer Ebene, wir kamen alle drei aus [Stadt], wir haben sehr, sehr lange noch Kontakt gehalten. Da war Wertschätzung aber eher […] untereinander. Wir haben uns untereinander gestützt […].“ (I2BA)*

4. Diskussion und Fazit

Die ersten Ergebnisse der Untersuchung deuten darauf hin, dass Transitionsmanagement auf Teamebene in der Frühphase des Karriereverlaufs eine zentrale Rolle für Selbstentwicklungs- und Selbstentfaltungsmöglichkeiten von (angehenden) MINT-Akademikerinnen spielt. Dieses Transitionsmanagement manifestiert sich in sozialen Praktiken und ist als arbeitsplatznaher, aushandelnder Lernprozess im Sinne Dehnbostels (1998) zu verstehen. Damit bekräftigen die aktuellen Ergebnisse die praxeologische Grundannahme, dass gelebte soziale Praktiken darüber entscheiden, ob Übergänge als entwicklungsfördernde oder -hemmende Erfahrung erlebt werden (Reckwitz 2010; Krämer 2016; Hof & Förster 2018).

Auf Basis der Interviews lassen sich folgende vorläufige Kernaussagen formulieren: (1) Transitionsmanagement findet alltäglich statt. Es sind primär Einarbeitungs-, Kommunikations- und Zugehörigkeit herstellende Praktiken aus dem Team heraus, die beeinflussen, ob Übergänge als Räume für Selbstentwicklungs- und Selbstentfaltungsmöglichkeiten wirksam werden (Dehnbostel 1998; Reckwitz 2010). (2) Diese Selbstentfaltung entsteht aus einem Zusammenspiel von Struktur und Anerkennung. Klare Aufgaben- und Zuständigkeitsregelungen geben Orientierung.

Außerdem sind herausfordernde Aufgaben und regelmäßiges Feedback wesentliche Anerkennungspraktiken, die Selbstwirksamkeitserleben ermöglichen (Voswinkel & Lindemann 2013). (3) Zugehörigkeit wirkt als Mechanismus: Soziale Zugehörigkeit zu einem Team wirkt motivierend und erleichtert den beruflichen Übergang (Sullivan & Arriss 2021; Hof & Förster 2018). Eine Duz-Kultur bspw., verdeutlicht die Beziehung zu In- und Outgroups und verstärkt Status- und Hierarchiesignale.

Für Unternehmen, die (angehende) MINT-Akademikerinnen beschäftigten (wollen), zeichnen sich erste Gestaltungsempfehlungen ab: (1) Klare Zuständigkeiten, Erwartungsklärung und konkrete Ansprechpersonen sind entscheidend für einen strukturierte Einarbeitung, die auch emotional an das Team und Unternehmen bindet. (2) Die Übertragung von anspruchsvollen aber realisierbaren Aufgaben bereits in der Frühphase, motiviert und zeugt von Wertschätzung. (3) Kontinuierliche Feedback- und Unterstützungspunkte wirken unabhängig von (2) anerkennend und integrierend. (4) Die gezielte soziale Integration ins Team (z.B. durch Kennenlerngespräche oder gemeinsame soziale Aktivitäten wie Mittagessen) fördern aktiv die Teamzugehörigkeit und den Bindungsprozess an das Team und das Unternehmen.

Erst mit der Auswertung aller geplanten Interviews im Projektverlauf kann untersucht werden, ob die bisher identifizierten Praktiken als Dimensionen bestehen bleiben und ob diese tatsächlich die Selbstentwicklungs- und Selbstentfaltungsmöglichkeiten von (angehende) MINT-Akademikerinnen hemmen oder fördern. Damit kann die Studie substanziell einen Beitrag dazu leisten, Transitions- und Karrieremanagement als Bestandteil menschengerechter Arbeitsgestaltung zu operationalisieren und zugleich das Innovationspotenzial sozialer Praktiken zu stärken (Jiménez-Jiménez & Sanz-Valle 2011; Goh et al. 2012).

5. Literatur

Benz-Gydat, M. (2015). Der Berufseinstieg als Transition: Vom Studium in die andragogische Praxis - In: Schmidt-Lauff, Sabine [Hrsg.]; Felden, Heide von [Hrsg.]; Pätzold, Henning [Hrsg.]: Transitionen in der Erwachsenenbildung. Gesellschaftliche, institutionelle und individuelle Übergänge. Opladen; Berlin; Toronto: Verlag Barbara Budrich 20–5, S. 113-125 - URN: urn:nbn:de:0111–pedocs-130084 - DOI:10.25656/01:13008

Dehnbostel, P. (1998). Berufliche Bildung im lernenden Unternehmen: Zum Zusammenhang von betrieblicher Reorganisation, neuen Lernkonzepten und Persönlichkeitsentwicklung. Berlin: Ed. Sigma.

Gehman J, Glaser VL, Eisenhardt KM, Gioia D, Langley A, Corley KG (2018) Finding theory–method fit: A comparison of three qualitative approaches to theory building. Journal of management inquiry. 27(3): 284-300.

Gioia DA, Corley KG, Hamilton AL (2013) Seeking qualitative rigor in inductive research: Notes on the Gioia methodology. Organizational research methods, 16(1): 15-31.

Goh, S. C., Elliott, C., & Quon, T. K. (2012). The relationship between learning capability and organizational performance: A meta-analytic examination. The Learning Organization, 19(2), 92–108. https://doi.org/10.1108/09696471211201461

Hof, C, Förster, J (2018). Sozialisationstheoretische Grundlagen der Organisationspädagogik. In: Göhlich, M., Schröer, A., Weber, S. (eds) Handbuch Organisationspädagogik. Organisation und Pädagogik, vol 17. Springer VS, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-07512-5_16

Jiménez-Jiménez, D., & Sanz-Valle, R. (2011). Innovation, organizational learning, and performance. Journal of Business Research, 64(4), 408–417. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2010.09.010

Krämer, H. (2016). Erwerbsarbeit als Praxis: Perspektiven und Analysegewinne einer praxistheoretischen Soziologie der Arbeit. In H. Schäfer (Hrsg.), Sozialtheorie (1. Aufl., S. 301–320). transcript Verlag. https://doi.org/10.14361/9783839424049-015

Malta, C., Damo, C., Meirinhos, V. (2025). Career Transitions: Insights from a Narrative Approach. In: Machado, C. (eds) Human Resource Management in a Disrupted World. Lecture Notes on Multidisciplinary Industrial Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-89948-5_11

Miner KN, Walker JM, Bergman ME, et al. From “Her” Problem to “Our” Problem: Using an Individual Lens Versus a Social-Structural Lens to Understand Gender Inequity in STEM. Industrial and Organizational Psychology. 2018;11(2):267-290. doi:10.1017/iop.2018.7

Misoch S (2019) Qualitative interviews. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.

Niemeyer-Jensen, B., & Hinrichsen, M. (2015). Möglichkeitsräume (re)konstruieren – Biographische Aneignungsprozesse zwischen Schule und Erwerbstätigkeit. In S. Schmidt-Lauff, H. von Felden, & H. Pätzold (Eds.), Transitionen in der Erwachsenenbildung: Gesellschaftliche, institutionelle und individuelle Übergänge (1st ed., pp. 149–160). Verlag Barbara Budrich. https://doi.org/10.2307/j.ctvbkjvrk.14

Reckwitz A (2010). Auf dem Weg zu einer kultursoziologischen Analytik zwischen Praxeologie und Poststrukturalismus. In: Wohlrab-Sahr, Monika (Hg.). Kultursoziologie: Paradigmen – Methoden – Fragestellungen. Wiesbaden: VS, 179–205.

Schütze F (2016). Biographieforschung und narratives Interview. Sozialwissenschaftliche Prozessanalyse. Grundlagen der qualitativen Sozialforschung, 1, 55-74.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2024): Mehr als ein Drittel der Studienanfängerinnen und -anfänger im MINT-Bereich sind Frauen. Pressemitteilung Nr. N003 vom 17.01.2024. Wiesbaden. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2024/01/PD24_N003_213 (Zugriff am 03.12.2025)

Stifterverband der Deutschen Wirtschaft e.V. (2025). Frauen in MINT: Der Frauenanteil nimmt entlang der Bildungskette ab. MINT DataLab. https://mint-vernetzt.shinyapps.io/datalab/#beruf_frauen (Zugriff am 03.12.2025)

Sullivan S, Ariss A (2021): Making sense of different perspectives on career transitions: A review and agenda for future research. In: Human Resource Management Review, Volume 31, Issue 1, 2021,100727, ISSN 1053-4822, https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2019.100727.

Voswinkel, S. & Lindemann, O. (2013): Einleitung, in: Honneth, Axel, Lindemann, Ophelia & Voswinkel, Stephan (Hrsg.), Strukturwandel der Anerkennung. Paradoxien sozialer Integration in der Gegenwart. Frankfurt/Main und a.: Campus, 7–15.

Danksagung: Diese Forschungsarbeiten wurden durchgeführt im Rahmen von „Women.Vision.Mission.MINT.“ (WVMM) (Förderkennzeichen: 01FP24M06), gefördert vom Bundesministerium Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor:innen. Der Geldgeber hatte keinen Einfluss auf das Studiendesign, die Erhebung, Analyse und Interpretation der Daten, auf das Verfassen oder Einreichen des Berichts. Wir danken allen Interviewpartnerinnen für ihren Beitrag an diesem Forschungsprojekt.

Erlebte Zukunft der Arbeit: Sozio-technische Systeme durch XR begreifbar machen

Anna GELIEV, Adjan HANSEN-AMPAH

Institut für Textiltechnik, RWTH Aachen University
Otto-Blumenthal-Str. 1, D-52074 Aachen

Kurzfassung: Im Kompetenzzentrum WIRKsam wird erforscht, wie sozio-technische Arbeitssysteme mithilfe von partizipativ entwickelter Künstlicher Intelligenz verbessert werden können. Um die Veränderung von Arbeit erfahrbar zu machen, wurden Extended-Reality-Demonstratoren (XR) entwickelt, in denen industrielle Arbeitssituationen mit und ohne KI-Unterstützung erlebt und verglichen werden können. Begleitende Befragungen erfassen die Wahrnehmung der Arbeitssituation vor und nach der XR-Interaktion. Die Ergebnisse zeigen, dass XR-Demonstratoren als Reflexionsräume geeignet sind, um Arbeitswandel erfahrbar zu machen.

Schlüsselwörter: Soziotechnische Systeme, Arbeitswandel, Extended Reality (XR), Arbeitsgestaltung, User-Feedback, Künstliche Intelligenz

1. Einleitung

Im Kompetenzzentrum WIRKsam wird die Veränderung und Verbesserung von Arbeit durch KI-gestützte Systeme erforscht (Link et al. 2026). Eine der Fragen, die sich dabei stellt, ist, wie diese Veränderung kommuniziert und demonstriert bzw. erlebbar gemacht werden kann (Altepost et al. 2023). Vor diesem Hintergrund gewinnen Demonstrationsformate an Bedeutung, die zukünftige Arbeitsszenarien vor ihrer Realisierung erfahrbar machen. XR-Technologien bieten hierfür besondere Potenziale, da sie komplexe Mensch-KI-Interaktionen anschaulich darstellen können (Davis 1989).

Vor diesem Hintergrund wurden in WIRKsam zwei XR-Demonstratoren (XR-Demos) entwickelt. Innerhalb dieser Szenarien finden sich Teilnehmende in einer realistischen Arbeitsumgebung wieder und erleben, wie eine Aufgabe auf dem Shopfloor ohne und mit KI-Unterstützung aussehen könnte (Hansen-Ampah et al. 2025). Die XR-Demos wurden auf der Hannovermesse 2025 im Rahmen einer explorativen Fallstudie mit anschließender quantitativer Befragung zum Ausprobieren zur Verfügung gestellt. Ziel dieser Forschung ist, anhand des User-Feedbacks abzuschätzen, inwieweit XR-Demos geeignet sind, die Veränderung und Verbesserung von Arbeit durch KI-gestützte Systeme zu zeigen und erlebbar zu machen. Des Weiteren wurde in dem Studiendesign ein Nutzer-Feedback abgefragt, um zu evaluieren, welche Faktoren entscheidend für eine positive Erfahrung sein können und welche Faktoren innerhalb der Demonstration noch ausgebaut werden müssen. Die Studie folgt einem Prä-Post-Design: Die Teilnehmenden wurden sowohl vor als auch nach der Demo quantitativ befragt.

Der Beitrag gliedert sich folgendermaßen: Zunächst wird die Entwicklung der Demonstratoren vor dem Hintergrund des Forschungsziels beleuchtet. Anknüpfend daran wird das Studiendesign und anschließend die Ergebnisse vorgestellt und reflektiert.

2. Konzeption der XR-Demonstratoren

Hier folgt eine kurze Beschreibung der Konzeption der XR-Demonstratoren. Für weitere Informationen, siehe Hansen-Ampah et al. (2025).

Es wurden zwei Demonstratoren konzipiert: ein Recycling- und ein Fehlererkennungsszenario. Die Teilnehmenden erleben zwei Durchgänge, einmal ohne und einmal mit simulierter KI-Unterstützung. Die Demos nutzen Hand-Tracking zur realitätsnahen Interaktion und integrieren Tutorials, um Teilnehmende vorab mit der Nutzung vertraut zu machen.

Die Recycling-Demo ist inspiriert von WIRKsam-Anwendungsfällen, die bildbasierte Qualitätskontrollen mit KI verbessern wollen. Der virtuelle Arbeitsplatz stellt eine Sortierstation dar, an der Metallobjekte aus einem heterogenen Abfallstrom herauszufiltern sind. Im ersten Durchgang endet die Aufgabe, wenn eine bestimmte Anzahl an Fehlern (Objekte falsch sortiert oder Metall übersehen) auftreten. Im zweiten Durchgang markiert das KI-System alle Metallobjekte, wodurch die Identifikation erleichtert wird. Am Ende werden die Fehlerraten beider Runden angezeigt. Diese Konfiguration erlaubt den Teilnehmenden, den Unterschied zwischen manueller und KI-gestützter Arbeit direkt zu erleben.

Die Flügel-Demo basiert auf einem realen Use Case eines mittelständischen Unternehmens, das u. a. CFK-Heckflügel für Autos produziert. Die Herstellung dieser carbonfaserverstärkten Kunststoffbauteile erfordert eine manuelle Nachbearbeitung, die aus intensiven Schleifarbeiten und der visuellen Fehlererkennung besteht. Die Demo simuliert den Prozess der visuellen Fehlererkennung: In der ersten Runde inspizieren Teilnehmende die Oberfläche eines CFK-Flügels und markieren Fehler mit dem Zeigefinger. Die zweite Runde wird über das Aktivieren der KI durch einen Knopf gestartet; nun kennzeichnet die KI potenzielle Fehler, die die Teilnehmenden wie zuvor markieren müssen. Die KI ist jedoch bewusst nicht fehlerfrei, sodass die Nutzer*innen weiterhin wachsam bleiben müssen. Am Ende wird die Anzahl der inspizierten Flügel sowie übersehene und falsch erkannte Fehler für beide Runden dargestellt. Das Ziel der dieser Demo ist die Erkenntnis, dass KI hilfreich sein kann, jedoch die menschliche Kontrolle weiterhin erforderlich ist.

***Abbildung 1**: Die Flügel-Demo: links das Bedienpanel mit transportierten Fahrzeugflügeln im Hintergrund, rechts die KI-gestützte Hervorhebung und Markierung eines Fehlers.*

3. Studiendesign

Die im Rahmen der Hannover-Messe hauptsächlich ausgestellte Flügel-Demo generierte 79 vollständig beantwortete Fragebögen. Es wurden sowohl vor als auch nach dem Ausprobieren der Demo Variablen erhoben. Vor dem Test wurden soziodemografische und erfahrungsbezogene Merkmale (fünfstufige Likert-Skalen) erfasst. Dazu gehörten die Erfahrung mit Mixed-Reality-Headsets, die Erfahrung mit KI sowie die Erfahrung mit industrieller Arbeit. Zusätzlich wurde die grundsätzliche Bewertung der Integration von KI in den Arbeitsprozess und die persönliche Präferenz für eine KI-unterstützte Arbeitsweise erhoben. Diese Items wurden auch nach dem Test abgefragt. Zusätzlich dazu wurden nach dem Test im Bereich Nutzung die wahrgenommene Intuitivität der Anwendung, die wahrgenommene Hilfreichkeit der KI-Unterstützung sowie die Benutzerfreundlichkeit des XR-Headsets erfasst. Die Schwierigkeit der Aufgabenbewältigung wurde getrennt für die Bearbeitung ohne und mit KI erhoben. Darüber hinaus wurden verschiedene Stressoren erfasst, darunter Stress durch die VR-Anwendung, die Arbeitsaufgabe, das Headset selbst, umstehende Personen und sonstige Störungen in der Umgebung. Aus den Angaben zur grundsätzlichen sowie auf sich selbst bezogenen Präferenz für KI-Unterstützung, die sowohl vor- als auch nach dem Ausprobieren erhoben wurden, wurden zusätzliche Variablen gebildet: Diese zeigen die Veränderung dieser Präferenzen an (ab jetzt Veränderungsvariablen genannt).

4. Datenanalyse

Die Veränderungsvariablen erfassen die Einstellungsveränderung, indem die Bewertungen vor und nach der Nutzung der XR-/KI-Anwendung miteinander verglichen wurden. Es handelt sich jeweils um ordinale Variablen mit drei Stufen (*negative Veränderung*, *keine Veränderung*, *positive Veränderung*). Es wurden bivariate Zusammenhänge zwischen den Veränderungsvariablen und einzelnen Einflussfaktoren mittels Kendall-Tau-Korrelationen analysiert. Dabei wurden aufgrund der Verteilung auf die sozio-demografischen Variablen verzichtet.

Während Tabelle 1 die Veränderung der grundsätzlichen Bewertung der KI-Integration in den Arbeitsprozess abbildet, erfasst Tabelle 2 die Veränderung der persönlichen Präferenz.

Bezogen auf die Veränderung bzgl. des generellen Einsatzes von KI, zeigt sich, dass die Schwierigkeit der Bewältigung der Arbeitsaufgabe ohne KI den stärksten (positiven) Zusammenhang hat. Eine als hilfreich wahrgenommene KI-Unterstützung geht ebenfalls tendenziell mit einer positiveren Bewertung des generellen KI-Einsatzes einher. Einen ähnlich starken, allerdings negativen Zusammenhang weist die Erfahrung mit industrieller Arbeit auf. Demgegenüber zeigen weder Stress durch die Arbeitsaufgabe noch verschiedene weitere Stressfaktoren (etwa durch umstehende Personen, sonstige Störungen oder die VR-Anwendung insgesamt) einen relevanten Zusammenhang mit der veränderten Bewertung des generellen KI-Einsatzes. Auch Aspekte der Nutzbarkeit wie der Umgang mit dem XR-Headset, die wahrgenommene Intuitivität der Anwendung oder die Steuerung der VR-Anwendung, stehen nicht in einem systematischen Zusammenhang mit einer Bewertungsänderung. Dasselbe gilt für die Erfahrung mit KI und XR (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: *Zusammenhang zwischen subjektiven Nutzungserfahrungen und der Veränderung der Bereitschaft zum generellen Einsatz von KI in Arbeitssituationen.*

Einflussfaktor	Kendall-τ	p-Wert
Schwierigkeit der Bewältigung der Aufgabe ohne KI	0.221	0.0262
Die KI-Unterstützung war hilfreich	0.197	0.0608
Erfahrung mit industrieller Arbeit	-0.194	0.0468
Stress durch die Arbeitsaufgabe	0.130	0.188
Schwierigkeit der Bewältigung der Aufgabe mit KI	0.0998	0.334
Der Umgang mit dem XR-Headsets ist einfach	0.0947	0.363
Stress durch umstehende Personen	0.0762	0.443
Stress durch sonstige Störungen in der Umgebung	0.0726	0.468
Stress durch die VR-Anwendung	−0.0411	0.677
Stress durch das XR-Headset selbst	0.0390	0.699
Erfahrung mit XR-Headsets	-0.0362	0.716
Erfahrung mit künstlicher Intelligenz	-0.0105	0.916
Die Anwendung ist intuitiv	−0.00865	0.935
Schwierigkeit der Steuerung der VR-Anwendung	0.00211	0.983

Tabelle 2: *Zusammenhang zwischen subjektiven Nutzungserfahrungen und Zusammenhang zwischen subjektiven Nutzungserfahrungen und der Veränderung der Bereitschaft, KI in der eigenen Arbeit einzusetzen.*

Einflussfaktor	Kendall-τ	p-Wert
Erfahrung mit industrieller Arbeit	-0.241	0.0130
Die KI-Unterstützung war hilfreich	0.191	0.0670
Der Umgang mit dem XR-Headset ist einfach	0.180	0.0816
Stress durch das XR-Headset selbst	−0.175	0.0795
Stress durch sonstige Störungen in der Umgebung	−0.132	0.182
Stress durch die VR-Anwendung	0.127	0.194
Schwierigkeit der Bewältigung der Aufgabe mit KI	−0.107	0.295
Stress durch umstehende Personen	−0.0911	0.355
Die Anwendung ist intuitiv	0.0754	0.470
Erfahrung mit XR-Headsets	-0.0735	0.456
Erfahrung mit KI	-0.0429	0.662
Schwierigkeit der Steuerung der VR-Anwendung	−0.0289	0.774
Stress durch die Arbeitsaufgabe	0.0256	0.793
Schwierigkeit der Bewältigung der Aufgabe ohne KI	0.0123	0.900

Für die persönliche Bereitschaft, KI in der eigenen Arbeit einzusetzen, ergibt sich ein teilweise anderes Bild: Der stärkste Zusammenhang besteht mit der Erfahrung mit industrieller Arbeit. Je mehr Erfahrung eine Person hat, desto eher neigt sie zu einer schlechteren Bewertung nach dem Test. Demgegenüber geht eine als hilfreich erlebte KI-Unterstützung sowie ein als einfach empfundener Umgang mit dem XR-Headset tendenziell mit einer erhöhten Bereitschaft einher. Stress durch das Headset selbst ist eher mit einer geringeren Bereitschaft verbunden. Variablen wie Stress durch Störugen in der Umgebung oder durch die VR-Anwendung, Schwierigkeit mit der Bewältigung der Aufgabe mit KI, Stress durch umstehende Personen, Intuitivität der

Anwendung und Erfahrung mit XR-Headsets weisen sukzessive geringere Zusammenhänge auf, zeigen dennoch Tendenzen. Die übrigen Faktoren, d.h. die Erfahrung mit KI, die Schwierigkeit der Steuerung der VR-Anwendung sowie die Einschätzung der Aufgabenbewältigung mit oder ohne KI weisen nur noch sehr schwache Zusammenhänge mit dieser Veränderung auf (siehe Tabelle 2).

5. Diskussion: XR- Demonstratoren als Reflexionsräume für die Arbeitswelt?

Ziel der Untersuchung war es, menschenzentriert zu erforschen, inwieweit XR-Demonstratoren geeignet sind, die Veränderung von Arbeit erlebbar zu machen und welche Eigenschaften der Demos eine negative oder eine positive Erfahrung bedingen. Diese ersten Ergebnisse zeigen folgendes:

- Es gibt mehr Faktoren, die sich auf die Veränderung bzgl. des persönlichen Einsatzes von KI negativ auswirken als auf die Veränderung des allgemeinen KI-Einsatzes;
- Es besteht eher die Bereitschaft, nach dem Durchlauf der XR-Demo die Sinnhaftigkeit des allgemeinen KI-Einsatzes positiver zu bewerten als vorher als es bzgl. des persönlichen Einsatzes von KI der Fall ist;
- Vor allem die Variable „Erfahrung mit industrieller Arbeit“ ist ausschlaggebend für eine Abwertung der Präferenz der persönlichen KI-Nutzung im Arbeitskontext;
- Bei beiden Veränderungsvariablen ist die empfundene Hilfreichkeit der KI-Unterstützung ähnlich stark positiv ausgeprägt;
- Ansonsten zeigen verschiedene unabhängige Variablen unterschiedlich starke Zusammenhänge mit den beiden Veränderungsvariablen, teilweise sind die Zusammenhänge auch gegensätzlich; bspw. weist die emfpundene Schwierigkeit der Aufgabenbewältigung mit KI bei der Veränderung bzgl. des generellen Einsatzes einen positiven Zusammenhang auf, während sie bei der Veränderung der Bereitschaft der persönlichen Nutzung negativ ist;
- Eine besondere Auffälligkeit weist die Variable „Schwierigkeit der Bewältigung der Aufgabe ohne KI“ auf. Bzgl. der Veränderung des allgemeinen KI-Einsatzes zeigt sich hier der stärkste Zusammenhang, bzgl. der Veränderung des persönlichen KI-Einsatzes hat die Variable den schwächsten.

Insgesamt ergibt sich, dass XR-Demonstratoren durchaus geeignet sind, konkrete Aspekte veränderter Arbeitssituationen erfahrbar zu machen. Gleichwohl wird sichtbar, dass die Demonstration und Kommunikation der Veränderung von Arbeitssystemen durch KI-Unterstützung eine hohe Komplexität aufweist, wie die differenzierten und nicht eindeutig interpretierbaren Ergebnisse darlegen. Zu letzterem tragen verschiedene Limitationen des Forschungsdesigns bei.

Die Analysen basieren auf bivariaten Zusammenhängen, sodass keine Aussagen über kausale Effekte möglich sind. Zudem handelt es sich um subjektive Selbstauskünfte, die durch individuelle Wahrnehmungen und Antworttendenzen beeinflusst sein können. Bzgl. der Stichprobe ist die Geschlechterverteilung unausgewogen, gleichzeitig besteht bzgl. anderer demografischer Variablen und Erfahrungshintergründen eine gewisse Heterogenität und die Stichprobengröße (n=79) ist begrenzt, sodass eine Verallgemeinerbarkeit kaum gegeben ist. Darüber hinaus beziehen sich die Befunde auf einen spezifischen Nutzungskontext, sodass die Übertragbarkeit auf andere Arbeitsumgebungen oder Technologien eingeschränkt ist. Zudem erfassen die Veränderungsvariablen lediglich die Richtung, nicht aber die

Stärke der Einstellungsänderung, sodass differenziertere Veränderungen unberücksichtigt bleiben.

Aufbauend auf den vorliegenden Ergebnissen und Schlüssen lassen sich mehrere Perspektive für zukünftige Arbeiten ableiten. Ein weiterer XR-Demonstrator wird in WIRKsam konzipiert. Hilfreich könnte sein, diesen zielgruppenspezifischer zu gestalten. Damit könnte auch einhergehen, dass die Art der Veranstaltung bzw. des Veranstaltungskontextes abgewandelt wird: Weg von großen Veranstaltungen, auf der die XR-Demos ein Element von vielen sind und hin zu Situationen, in denen die das Nutzungserlebnis der XR-Demo im Zentrum steht. Auch bzgl. des Forschungsdesigns bestehen Desiderata. So könnte man die quantitative Befragung durch qualitative Nachfolgeuntersuchungen anreichern, um die Interpretierbarkeit der Daten zu verbessern.

6. Literatur

Altepost, Andrea; Berlin, Florian; Ferrein, Alexander; Harlacher, Markus (2023): Demonstrativ-aktiv-iterativ: Arbeitssysteme mit Künstlicher Intelligenz an Demonstratoren im Reallabor vermitteln, erproben und weiterentwickeln. In *Dokumentation des* 69.

Altepost, Andrea; Elaroussi, Farah; Hansen-Ampah, Adjan; Harlacher, Markus; Merx, Wolfgang (2024): Assessing organizational framework conditions for the successful, human-centered introduction of AI applications. In *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 78 (3), pp. 335–348.

Davis, Fred D. (1989): Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. In *MIS Quarterly* 13 (3), pp. 319–340.

Hansen-Ampah, A.; Altepost, A.; Elaroussi, F.; Berlin, F. (2025): Conceptualization of Demonstrators for Human-Technology Interaction with a Three-Layer Model. In : Proceedings of the 22nd Congress of the International Ergonomics Association (IEA): Springer Nature Singapore.

Link, Jennifer; Koonen, Anja; Berger, Sophie; Rick, Vera; Wölke, Mandy; Hansen-Ampah, Adjan et al. (2026): Beiträge der Regionalen Kompetenzzentren der Arbeitsforschung zur Nachhaltigkeit. In : Regenerative Zukünfte und künstliche Intelligenz: Band 3: PROFIT: Springer, pp. 329–344.

Danksagung: Das Kompetenzzentrum WIRKsam (FKZ: 02L19C600ff.) wird im Rahmen der Fördermaßnahme „Regionale Kompetenzzentren der Arbeitsforschung“ vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für diesen Beitrag liegt bei den Autor:innen. Wir danken außerdem dem Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT für die Entwicklung der Demonstratoren.

Ergonomische und barrierefreie Gestaltung mobiler Schutzräume für Naturkindergärten mittels Prozesssimulation

Julius Hannak[1], Michael Spitzhirn[2], Elisabeth Quendler[1]

[1] Institut für Landtechnik, BOKU University
Peter Jordan Straße 82, A-1190 Wien
[2] imk Industrial Intelligence GmbH
Amselgrund 30, D-09128 Chemnitz

Kurzfassung: Mobile Schutzräume in Wald- und Naturkindergärten stellen hohe Anforderungen an Ergonomie und Arbeitsschutz. In der Praxis eingesetzte Bauwagen sind hierfür häufig unzureichend ausgelegt und können erhöhte muskulär-skelettale Belastungen des pädagogischen Personals verursachen. Der Beitrag präsentiert eine arbeitswissenschaftliche Fallstudie zur Planung eines ergonomisch und barrierefrei gestalteten Bauwagens. Mithilfe der Prozesssimulationssoftware ema Work Designer werden typische Tätigkeiten des Kindergartenalltags digital modelliert und unter Anwendung ergonomischer Verfahren wie EAWS, Sicht- und Erreichbarkeitsanalysen sowie zeitwirtschaftlicher Bewertungen analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass digitale Ergonomie- und Prozesssimulationen eine frühzeitige Identifikation ergonomischer Risiken und sicherheitsrelevanter Defizite ermöglichen und die Ableitung geeigneter Gestaltungsmaßnahmen unterstützen. Der vorgestellte Ansatz leistet einen Beitrag zur präventiven Arbeitsgestaltung und bietet Potenzial als übertragbares Planungsinstrument für weitere mobile Betreuungs- und Lernräume.

Schlüsselwörter: Kinderbauwagen, Prozesssimulation, digitale Menschmodelle, Virtual Reality, Pädagogik, Kindergarten

1. Problemstellung und Motivation

Kinder wachsen zunehmend in einer von Digitalisierung und Urbanisierung geprägten Umwelt auf, in der unmittelbare Naturerfahrungen seltener werden. Gleichzeitig belegen zahlreiche Studien die positiven Effekte naturnaher Lernumgebungen auf die kognitive, emotionale, soziale und körperliche Entwicklung von Kindern (Chawla 2015; McCormick 2017; Kuo et al. 2019). Vor diesem Hintergrund haben sich in vielen Ländern naturpädagogische Konzepte – insbesondere Wald- und Naturkindergruppen – etabliert, die ganzheitliche Entwicklungs- und Bildungsziele adressieren (Quendler et al. 2025).

Mit der Umsetzung solcher Angebote steigt der Bedarf an geeigneten Schutz- und Rückzugsräumen, die den besonderen Anforderungen des naturpädagogischen Alltags gerecht werden. Diese Räume müssen hohe Anforderungen an Sicherheit, Gesundheitsschutz, Ergonomie, Inklusion und Nachhaltigkeit erfüllen und zugleich mobil sowie ressourcenschonend realisierbar sein. In der Praxis werden hierfür häufig umgenutzte Bauwagen eingesetzt, die ursprünglich nicht für pädagogische Zwecke konzipiert wurden und vielfach Defizite hinsichtlich funktionaler Ausstattung, Raumdimensionierung, Witterungsschutz, Materialhygiene sowie Brand-, Flucht- und

Hygienekonzepten aufweisen (Branco 2025). Die daraus resultierenden Folgen sind unter anderem erhöhte muskulär-skelettale Belastungen des pädagogischen Personals, eingeschränkte Nutzbarkeit für Kinder mit Beeinträchtigungen sowie organisatorische und versicherungstechnische Hürden für eine inklusive Nutzung durch Regelkindergärten (Dul et al. 2012; EN 1729-1/-2).

Empirische Befunde zeigen, dass neben qualitativ hochwertigen Außenräumen insbesondere die Innenräume eine zentrale organisatorische und didaktische Funktion erfüllen, etwa als Rückzugsorte bei Witterungseinflüssen, für Pflege- und Versorgungsaufgaben oder für strukturierte pädagogische Aktivitäten (Gill 2014). Gleichzeitig sind diese Räume an der Schnittstelle unterschiedlicher normativer Anforderungen aus Arbeits- und Gesundheitsschutz, Bau- und Brandschutzrecht sowie barrierefreier Gestaltung verortet (z. B. ÖNORM B 1600; EN 17210:2021; ISO 21542:2021). Systematische Leitlinien zur Konzeption mobiler, barrierefreier Schutzräume für Kinder liegen bislang jedoch nicht in geeigneter Form vor; bestehende Forschung fokussiert entweder Naturkontakte und deren Wirksamkeit (Chawla 2015; Kuo et al. 2019) oder allgemeine ergonomische und sicherheitstechnische Anforderungen (EN 1729; ISO 11226).

Der Beitrag verfolgt einen interdisziplinären Ansatz, der arbeitswissenschaftliche Prinzipien, ergonomische und inklusive Gestaltung, Sicherheitsanforderungen sowie digitale Simulation mit Menschmodellen kombiniert. Ziel ist die Entwicklung eines ergonomischen, barrierefreien und mobilen Schutzraums für naturpädagogische Settings unter Berücksichtigung pädagogischer, nachhaltiger und rechtlicher Anforderungen.

2. Vorgehensweise zur Gestaltung eines nachhaltigen, barrierefreien Bauwagens für Naturpädagogik

Ziel ist die Planung und Gestaltung eines Bauwagens als ergonomisch gestalteter, barrierefreier und mobiler Schutzraum für 24 Kinder und zwei Betreuungspersonen. Daraus ergeben sich zentrale Anforderungen an Ergonomie, Barrierefreiheit, Sicherheit und Nachhaltigkeit. Die ergonomische Auslegung orientiert sich an den anthropometrischen Anforderungen der Betreuungspersonen sowie der Kinder im Alter von 2 bis 6 Jahren. Normen wie EN 1729-1/-2 und ISO 11226 liefern hierfür grundlegende Orientierung, bilden die spezifischen Bedingungen kompakter, mobiler Schutzräume im Außenbereich jedoch nur eingeschränkt ab. Die Barrierefreiheit und Inklusion sind rechtlich verbindlich und werden durch EN 17210:2021, ISO 21542:2021, DIN 18040 und ÖNORM B 1600 konkretisiert. Für mobile Schutzräume bedeutet dies insbesondere die Umsetzung barrierefreier Zugänge, ausreichender Bewegungs- und Wendeflächen, flexibler Möblierung sowie konsistenter Rettungs- und Evakuierungskonzepte unter beengten räumlichen Bedingungen. Für die sicherheitstechnische Auslegung der Bauwagen für den Einsatz im Kindergartenbereich sind eine Risikobeurteilung nach EN ISO 12100 durchzuführen sowie Besonderheiten nach länderspezifischen Richtlinien wie DGUV Regeln 102-602, DGUV Information 202-093 zu beachten. Schnittstellen mit Barrierefreiheit sind abzustimmen, damit Zugänglichkeit und Maschinensicherheit konsistent umgesetzt werden (z. B. Rampenneigungen, Handläufe, rutschhemmende Oberflächen). Um eine Nachhaltigkeit gemäß EU-Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG und Circular Economy Action Plan (2020) umzusetzen, sind biobasierte, emissionsarme Werkstoffe, demontagefreundliche Verbindungen, sortenreine Trennbarkeit sowie

robuste bauphysikalische Konzepte (Feuchte-/Wärmeschutz, Lüftung, sommerlicher Hitzeschutz) bei hoher Belegung anzustreben. Weiterhin sind kindgerechte, soziale und emotionale Anforderungen an die Raumgestaltung zu berücksichtigen, um Sicherheit, Interaktion und Wohlbefinden gleichermaßen zu fördern.

Zur Planung und Bewertung des Bauwagens sowie der Interaktionen zwischen Betreuungspersonen, Kindern und räumlicher Umgebung wird die Prozesssimulationssoftware ema Work Designer (emaWD) eingesetzt (imk 2026). Mit emaWD lassen sich Arbeitsprozesse digital abbilden und unter ergonomischen, zeitwirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Kriterien analysieren und gestalten (Spitzhirn et al. 2022; Spitzhirn et al. 2025; Spitzhirn 2026). Die Modellierung erfolgte mithilfe interner Objektbibliotheken und dem Import externer CAD-Daten. Da emaWD ausschließlich erwachsene digitale Menschmodelle integriert, wurden Kinder mit MakeHuman modelliert und importiert. Für die Aufgabensimulation der Betreuungspersonen wurden im emaWD in Anlehnung an Spitzhirn et al. (2022) die Arbeitsprozesse für drei repräsentative digitale Menschmodellgruppen (kleine Frau F05, 60 Jahre; mittelgroßer Mann M50, 40 Jahre; großer Mann M95, 20 Jahre) simuliert, um deren Einsatzfähigkeit innerhalb der Gestaltungsvarianten zu gewährleisten. Die Simulation der Prozesse erfolgte auf Basis einer parametrisierten Aufgabenbeschreibung, in der die Prozessbedingungen wie Handhabungsobjekte, Zielpositionen definiert und daraus die Bewegungsabläufe und Bewertungen automatisch erzeugt wurden. Die Analyse der Arbeitsprozesse erfolgte mithilfe ergonomischer Verfahren (u. a. Sicht- und Erreichbarkeitsanalysen, EAWS), zeitlicher Bewertungen nach MTM-AUS sowie sicherheitstechnischer Risikoanalysen (z. B. Quetsch- und Schnittgefahren), aus denen Gestaltungsvarianten abgeleitet wurden.

3. Digitale Konzeptentwicklung & arbeitswissens. Analyse des Bauwagens

Auf Grundlage der in Abschnitt 2 definierten Anforderungen wurden Konzeptvarianten für den Aufbau des Bauwagens sowie die Innenraumgestaltung entwickelt und digital abgebildet. Abbildung 1 zeigt exemplarisch die digitale Abbildung des Bauwagens und der umgebenden Außenflächen.

***Abbildung 1**: Digitale Abbildung des Bauwagens und Arbeitstätigkeiten mittels emaWD.*

Dabei wurden die funktionalen Bereiche Küche, Sanitär, Essen/Spielen, Umkleide sowie der Außenbereich berücksichtigt. Die Simulationen sind auch für virtuelle Begehungen mittels VR vorgesehen. Ein zentrales Gestaltungskriterium war die Sicherstellung ausreichender Bewegungs- und Interaktionsräume.

Zur Gewährleistung eines barrierefreien Zugangs wurde eine Rampe mit ausreichend breiten Verkehrswegen vorgesehen. Neben dem Sanitärbereich und dem Ofen sind alle Innenraumelemente flexibel ausgelegt und können mit geringem Aufwand umpositioniert werden, sodass unterschiedliche Layoutvarianten für variierende pädagogische Aufgaben realisiert werden können. Die Visualisierungs- und Messfunktionen von emaWD unterstützen dabei die Überprüfung von Bewegungsflächen, Zugänglichkeit und Nutzbarkeit. Abb. 2 zeigt eine Layoutvariante.

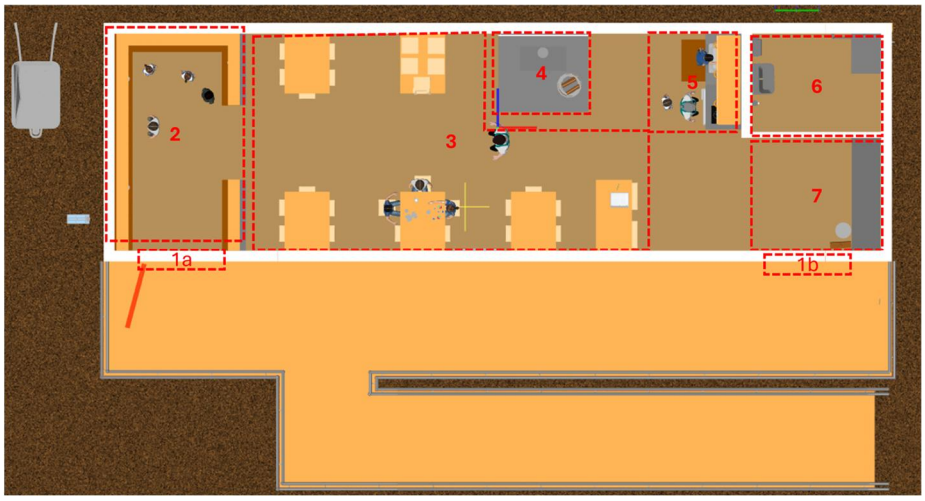


Abbildung 2: *Draufsicht Layout 1 Bauwagen mit Eingang (1a) / Notausgang (1b), Garderobe (2) Essens- und Spielbereich (3), Offen (4), Küche (5), Waschraum & Toilette (6), Abstellmgl. (7).*

In Anlehnung an Scharrer (2025) wurden in emaWD typische Tätigkeiten aus dem Alltag von Natur- und Waldkindergärten modelliert und simuliert (vgl. Abb. 3). Dazu zählen Reinigungsarbeiten (z. B. Kehren, Fensterputzen, Tischabwischen), Tätigkeiten der Essenszubereitung (Tischdecken, Kochen, Abwaschen), Aufgaben der Kinderbetreuung (z. B. Spielen, An- und Ausziehen) sowie spezifische naturpädagogische Tätigkeiten wie das Holzhacken und das Beschicken von Feuerstellen. Diese Tätigkeiten bildeten die Grundlage für die anschließenden ergonomischen, zeitlichen und sicherheitstechnischen Analysen.

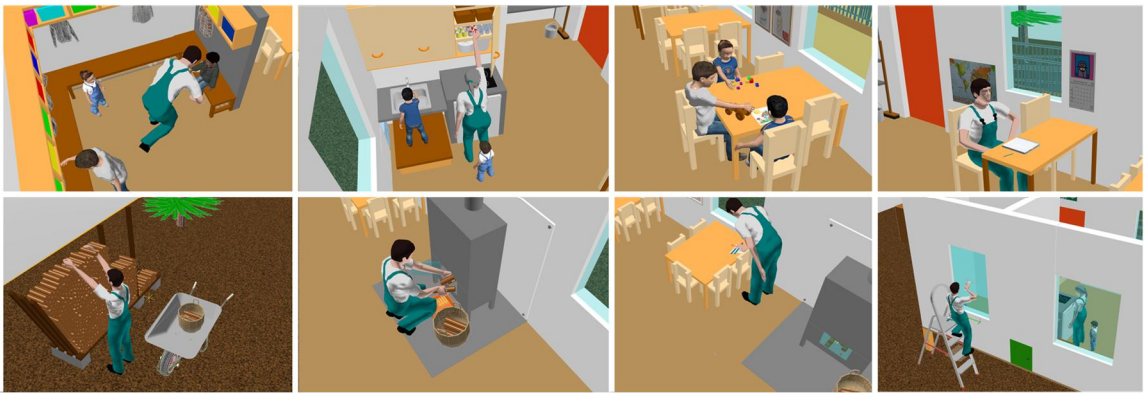


Abbildung 3: *Simulation verschiedene Tätigkeiten in Natur- und Waldkindergärten.*

Exemplarisch wurde für das Tätigkeitsprofil eines Erziehers („Sven“) eine ergonomische und zeitwirtschaftliche Bewertung durchgeführt. Die EAWS-Analyse weist für den Gesamtkörper mit 41,5 Punkten ein erhöhtes Risiko für muskuloskelettale Belastungen aus, während für die oberen Extremitäten mit 18 Punkten ein geringes Risiko ermittelt wurde. Die zeitliche Analyse der modellierten Teiltätigkeiten ergab eine Gesamtdauer von 17,37 min, die anteilig auf eine Schicht hochgerechnet wurde. Die Laufweganalyse zeigte eine Wegstrecke von 17,2 km pro Schicht.

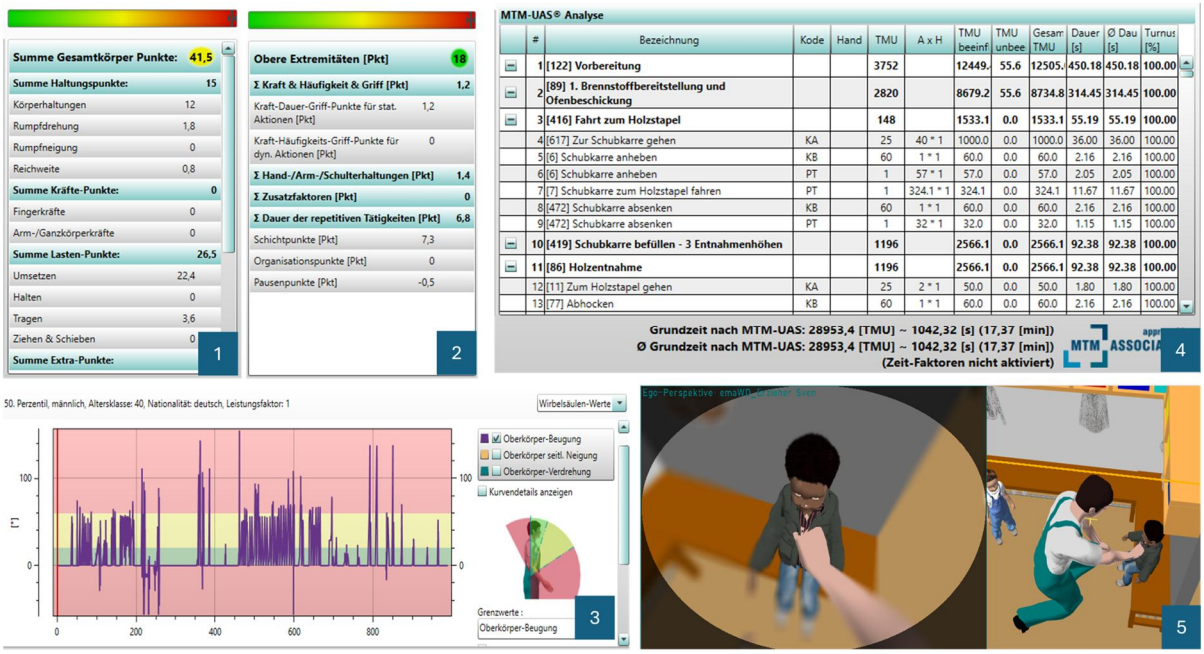


Abbildung 4: *Ergonomische und zeitliche Bewertung der Tätigkeiten am Bsp. von Erzieher Sven; EAWS für Gesamtkörper (1), EAWS für obere Extremitäten (2), Gelenkwinkelanalyse nach DIN (3); Zeitanalyse nach MTM-UAS, Sichtanalyse und Visualisierung für Tätigkeiten (5)*

4. Diskussion

Die visuelle Darstellung in Kombination mit integrierten ergonomischen Bewertungsmethoden ermöglicht die frühzeitige Identifikation und Vermeidung potenzieller Defizite, etwa belastender Körperhaltungen, ungünstiger Lastenhandhabung, unzureichender Bewegungsflächen oder Sturzgefahren. Die durchgeführten Ergonomie- und Zeitanalysen lieferten konkrete und praxisrelevante Erkenntnisse für die Gestaltung eines ergonomisch optimierten, barrierefreien und mobilen Schutzraums. So wurde bei der Auslegung der Küchenbereiche berücksichtigt, dass diese nicht nur von Betreuungspersonen mit unterschiedlichen anthropometrischen Ausprägungen (F05 bis M95) nutzbar sind, sondern auch eine altersgerechte Einbindung der Kinder, etwa beim Abwaschen oder Einräumen, ermöglichen. Dies unterstützt selbstbestimmtes Handeln und fördert einen proaktiven Umgang zwischen Erwachsenen und Kindern. Ergänzend wurden barrierefreie Zugänglichkeit sowie eine nachhaltige Materialauswahl konsequent berücksichtigt.

Demgegenüber steht der initiale Aufwand für die Erstellung der Simulation, der jedoch durch den parametrischen Modellierungsansatz relativiert wird, da lediglich zentrale Randbedingungen und prozessrelevante Parameter zu definieren sind.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag zeigt, dass die Anwendung der Prozesssimulation mit dem ema Work Designer eine fundierte digitale Abbildung eines mobilen Schutzraums für Natur- und Waldkindergärten sowie der darin ausgeführten Arbeitstätigkeiten ermöglicht. Die Kombination aus visueller Modellierung sowie ergonomischen und zeitwirtschaftlichen Bewertungskennzahlen unterstützt die systematische Ableitung geeigneter Gestaltungsvarianten bereits in frühen Planungsphasen. Dadurch können Interaktionskonzepte zwischen Betreuungspersonen und Kindern nach ergonomischen, räumlichen und organisatorischen Anforderungen optimiert werden.

Diese Vorgehensweise bietet Potenzial als Planungsinstrument für weitere mobile Lern- und Betreuungsräume, beispielsweise Pop-up-Klassenzimmer oder temporäre Übergangslösungen, und kann Planungs- und Genehmigungsprozesse beschleunigen. Zukünftige Arbeiten fokussieren auf praktische Validierung der simulierten Gestaltungslösungen in partizipativen Workshops unter Einbindung von Simulation und Virtual Reality (Hamilton et al. 2021; Spitzhirn et al. 2025). Dabei sollen Expert*innen der Kindergartenplanung und Ergonomie die Praxistauglichkeit der Konzepte bewerten und weiterführende Optimierungspotenziale identifizieren.

6. Literatur

Branco A (2025) Erhebung der Organisation von Wald- und Naturkindergruppen in Österreich. Univ. für Bodenkultur Wien: Institut für Landtechnik, Masterarbeit.

Chawla L (2015) Benefits of nature contact for children. Journal of Planning Literature 30:433–452.

DGUV, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2019) DGUV Regel 102-602. Branche Kindertageseinrichtung.

DGUV, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2023) DGUV Information 202-093. Die jüngsten in Kindertageseinrichtungen sicher bilden und betreuen.

Dul J, Bruder R, Buckle P, Carayon P, Falzon P, Marras WS, van der Doelen B (2012) A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. Ergonomics 55:377–395.

Hamilton, D., McKechnie, J., Edgerton, E. et al. (2021). Immersive Virtual Reality as a Ped-agogical Tool in Education: A Systematic Literature Review of Quantitative Learning Out-comes and Experimental Design. Journal of Computers in Education 8: 1–32. https://doi.org/10.1007/s40692-020-00169-2.

imk (2026) ema Software Suite. https://imk-ema.com/ Zugriff am: 05.01.2026.

Kuo M, Barnes M, Jordan C (2019) Do experiences with nature promote learning? Frontiers in Psychology 10:305.

McCormick R (2017) Does access to green space impact the mental well-being of children? A systematic review. Journal of Pediatric Nursing 37:3–7.

Quendler E, Mühlberger D, Spangl B, Ennöckl D, Branco A (2025) Towards Inclusive and Sustainable Nature Education in Austria: Evaluation of Organization, Infrastructure, Risk Assessment, and Legal Frameworks of Forest and Nature Childcare Groups. Sustainability 17:6965.

Scharrer S (2025) Arbeitswirtschaftliche und ökonomische Aspekte von Wald- und Naturkindergruppen in Österreich, Univ. für Bodenkultur Wien: Institut für Landtechnik, Masterarbeit.

Spitzhirn M (2026) Empowering Industry 5.0 Education through Digital Ergonomics and Simulation. A Practical Approach Using the ema Software Suite. In: Busciantella-Ricci D, Scataglini S (Eds) Exploring Research Through Co-Design. Multiple Perspectives for Collaborative Inquiry. CRC Press. ISBN 9781032900049.

Spitzhirn M, Halim J, Bdiwi M, Keller N, Hesse A (2025) Kollaborative Planung und Simulation von Mensch-Roboter-Interaktionen: Am Beispiel der Brennstoffzellen-Montage. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 120:(6), 426-434.

Spitzhirn M, Ullmann S, Fritzsche L (2022) Considering individual abilities and age-related changes in digital production planning – human centred design of industrial work tasks with ema software. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 76:459-477. https://doi.org/10.1007/s41449-022-00343-5.

Menschengerechte Gestaltung soziotechnischer Assistenzbeziehungen bei technikgestützter personenbezogener Dienstleistungsarbeit – am Beispiel Pflege

Marlen MELZER, Peter BINIOK

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund

Kurzfassung: Personenbezogene Dienstleistungsarbeit findet zunehmend unter Einsatz digitaler und KI-basierter Technik statt. Damit sind nicht nur Auswirkungen auf die arbeitenden Menschen, sondern auch auf die Empfängerinnen und Empfänger der Dienstleistungen sowie deren Interaktion mit ersteren verbunden. Für menschengerechte Gestaltung dieser Arbeit ergibt sich damit die Notwendigkeit, auch Auswirkungen von Technik auf die organisationsexternen Menschen und deren Interaktionszusammenhänge systematisch zu betrachten. Hierfür wird das MTO-Modell der soziotechnischen Systemgestaltung um diese Komponente ergänzt und mit dem Konzept der Assistenztriaden verknüpft. Darauf aufbauend werden potenzielle Zielkonflikte bei der Gestaltung und sich daraus ergebende Anforderungen identifiziert.

Schlüsselwörter: Arbeitsgestaltung, MTO-Modell, Assistenztriaden, soziotechnische Systemgestaltung, Dienstleistungsarbeit

1. Menschengerechte Arbeitsgestaltung: Technikeinsatz, Assistenz, Dienstleistungsarbeit

Menschengerechte Arbeitsgestaltung bezieht sich angesichts fortschreitender Automatisierung und Digitalisierung immer auch auf den Einsatz und die Nutzung von Technik (Tisch & Wischniewski 2022; Bamberg et al. 2024). Insbesondere im Dienstleistungsbereich bzw. der personenbezogenen Arbeit finden vermehrt Assistenztechnologien Verwendung (Biniok & Lettkemann 2017; Kaminsky et al. 2020). Der Einsatz von (digitaler) Technik in diesem Bereich wirkt sich sowohl auf die Arbeit als auch auf Befinden und Gesundheit der Beschäftigten aus.

Im Folgenden werden am Beispiel der professionellen Pflegearbeit eine arbeitswissenschaftliche und eine techniksoziologische Arbeitsgestaltungsperspektive miteinander kombiniert. Beide Sichtweisen eint die Annahme, dass (digitale) Technik Arbeitsprozesse – z. B. bei personenbezogener Dienstleistungsarbeit – erleichtern und verbessern, gleichzeitig aber auch behindern oder erschweren kann. Ebenso ist beiden Perspektiven gemeinsam, dass über Einsatz und Nutzung von Technik innerhalb eines kollektiven Aushandlungs- und Gestaltungsprozess entschieden wird. In diesen Prozessen bedarf es eines um die Perspektive der organisationsexternen (z. B. pflegebedürftigen) Menschen erweiterten Ansatzes.

2. Soziotechnische Assistenzbeziehungen – aus arbeitswissenschaftlicher und techniksoziologischer Perspektive

Assistenz bezeichnet ein Dienstleistungsverhältnis, bei dem menschliche Assistenznehmende durch menschliche Assistenzgebende bei der Lebensführung oder in Krankheits- bzw. Pflegesituationen unterstützt werden. Dabei findet Interaktionsarbeit statt (u. a. Böhle & Weihrich 2020; Hacker 2009). Arbeitswissenschaftlich betrachtet wird der assistenznehmende Mensch damit zum „Arbeitsgegenstand" (Hacker 2009) – an bzw. mit dem seitens des Assistenzgebenden im Rahmen einer Arbeitstätigkeit Veränderungen vorgenommen werden. Hierbei erfolgt allerdings keine einseitige Einwirkung. Wie der Begriff „Interaktionsarbeit" impliziert, findet dabei ebenso *Einflussnahme und Einwirken seitens des/ der Assistenznehmenden auf den/ die assistenzgebende Person* statt, was personenbezogene Arbeit maßgeblich von objektbezogener Arbeit unterscheidet (u. a. Melzer et al. 2022). Wird bei einer solchen interaktiven Arbeitstätigkeit nun (digitale) Technik eingesetzt, löst sich die dyadische Beziehung auf. Technik wird in Form von einfachen Geräten, Maschinen und Algorithmen Teil der Interaktionszusammenhänge, bewirkt Dinge, handelt und entscheidet mit (Rammert & Schulz-Schaeffer 2002; Braun-Thürmann 2002). Dabei beeinflusst der Technikeinsatz nicht nur Arbeitstätigkeiten und Interaktionen; er prägt auch die organisatorischen Arbeitszusammenhänge und -systeme.

In der beruflichen Pflege reicht die Bandbreite eingesetzter digitaler bzw. KI-basierter Technik von Smartphones mit Programmen zur digitalen Tourenplanung in der ambulanten Pflege über Exoskelette zur physischen Entlastung beim Heben und Tragen bis hin zu KI-basierten Entscheidungsunterstützungssystemen (u. a. Lutze et al. 2025; Wolf-Ostermann 2024)[2]. Diese Technologien weisen dabei eine unterschiedliche „Nähe" zur Interaktion von assistenzgebender und -nehmender Person auf (Wirth et al., 2022): Während digital-gestützte Pflegedokumentation die Interaktion kaum tangiert, beeinflussen telepflegerische Anwendungen diese in erheblichem Maße. Techniksoziologisch betrachtet wird damit bei der Interaktion innerhalb von Pflege- bzw. Assistenzsituationen die Handlungsträgerschaft situativ verteilt. Technik übernimmt in Abhängigkeit davon unterschiedliche Rollen, fungiert beispielsweise als Medium oder Kontrollinstanz.

Ein etabliertes Modell zur Beschreibung von Arbeitssystemen ist das Modell der soziotechnischen Systemgestaltung (u. a. Ulich 2013). Hierbei sind der arbeitende Mensch (M), die eingesetzte Technik (T) und die Organisation (O), innerhalb derer die Ausübung der Arbeitstätigkeit stattfindet, zentrale Komponenten. Eine wesentliche aus dem Modell abgeleitete Gestaltungsprämisse ist die gemeinsame Optimierung aller Systemkomponenten („joint optimization"). Da – wie zu Beginn dieses Abschnittes dargestellt – bei personenbezogener Arbeit neben der assistenzgebenden, im Rahmen einer Erwerbstätigkeit handelnden Person auch *nicht* innerhalb einer Erwerbstätigkeit handelnde, assistenznehmende Personen an der Interaktion beteiligt sind und dies Konsequenzen für die Belastungssituation der assistenzgebenden Person haben kann, wurde im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Sicherheit und Gesundheit in der digitalen Arbeitswelt der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin eine Erweiterung dieses Modells um den/ die „organisationsexternen Menschen" (Me) vorgeschlagen (vgl. Abbildung 1; Melzer et al., 2022). Diese neue Komponente im Arbeitssystem-Modell erzeugt drei Schnittmengen, die bei der

[2] Vgl. zu digitalen Pflegetechnologien https://www.baua.de/DE/Forschung/Schwerpunkt-Digitale-Arbeit/Taetigkeiten-im-digitalen-Wandel/Personenbezogene-Taetigkeiten/Digitale-Pflegetechnologien.

Gestaltung personenbezogener Dienstleistungsarbeit besondere Berücksichtigung erfahren müssen: (1) Die Schnittmenge von arbeitendem Menschen, eingesetzter Technik und dem organisationsexternen Menschen (MTMe), (2) die Schnittmenge von Organisation, arbeitendem Menschen und organisationsexternem Menschen (OMMe) sowie die Schnittmenge aus Technik, Organisation und organisationsexternem Menschen (TOMe).

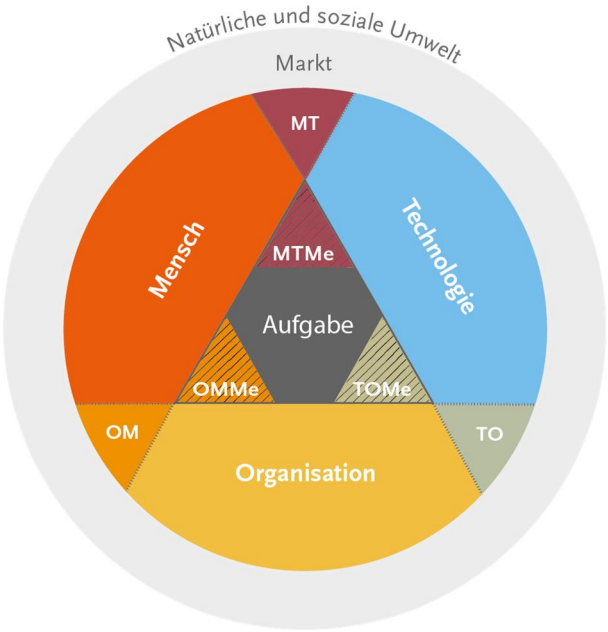


***Abbildung 1**: MTO-Modellerweiterung (Quelle: Melzer et al., 2022 sowie https://www.baua.de/DE/Forschung/Schwerpunkt-Digitale-Arbeit/Taetigkeiten-im-digitalen-Wandel/Personenbezogene-Taetigkeiten/Erweitertes-MTO-Konzept).*

Für die Gestaltung technikgestützter Dienstleistungsarbeit ist dabei insbesondere die Schnittmenge „arbeitender Mensch – Technik – organisationsexterne/r Mensch/en“ (MTMe) von Bedeutung, da sich hier personenbezogene Dienstleistungen und Assistenzsituationen in spezifischer Weise ausformen. Aus techniksoziologischer Perspektive lässt sich diese Schnittmenge mit „Assistenz-Triaden“ (Biniok 2022) beschreiben, da an der Erbringung der Dienst- bzw. Assistenzleistung neben Assistenzgebenden (AG) und -nehmenden (AN) auch assistive Technik (AT) beteiligt ist (vgl. Abbildung 2).

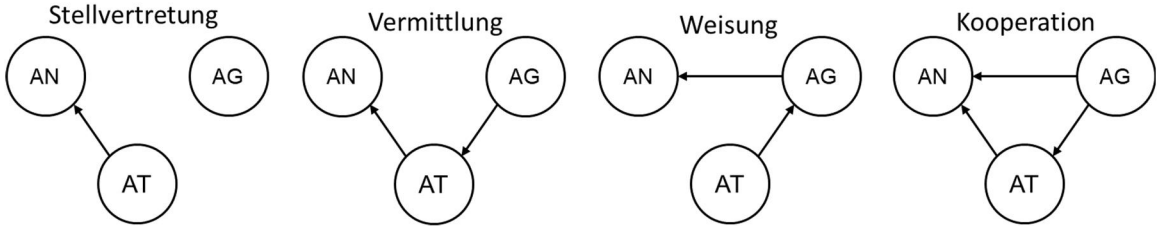


***Abbildung 2**: Assistenztriaden.*

Struktur und Funktionalität von Triaden differieren. Die Triaden unterscheiden sich jeweils dadurch, wer, wie, für wen und unter welchen Bedingungen eine Form von Assistenz generiert. Je nach Funktion der Technik und Rolle der Assistenzgebenden

gestaltet sich die Assistenzleistung einer Triade anders. In der (1) *Stellvertretungs-Triade* übernimmt Technik Aufgaben einer/ eines Assistenzgebenden. Dies sind vor allem kleinskalige Handlungen und Tätigkeiten. Technik leistet den Pflegebedürftigen direkt einen Dienst und besitzt die überwiegende Handlungsmacht. Im Bereich der beruflichen Pflege sind dies bspw. digitale, Vitalparameter erfassende Monitoring-Systeme oder „intelligente" Sturzmatten. In der (2) *Vermittlungs-Triade* nimmt assistive Technik eine intermediäre Position ein. Sie ist zwischen Assistenzgebenden und -nehmenden positioniert und vermittelt den Dienstleistungsprozess. Die Handlungsmacht liegt bei den Assistenzgebenden bzw. Pflegenden. Technik ist Mittel zum Zweck und ermöglicht bzw. verbessert die Erbringung der Assistenzleistung. Beispiele hierfür sind telepflegerische Anwendungen, GPS-Armbänder zur Ortung von Demenzerkrankten oder Apps für pflegende Angehörige, um Informationen über die Situation der zu Pflegenden zu erhalten. Die (3) *Weisungs-Triade* konstituiert sich ähnlich wie die Vermittlungs-Triade – lediglich die Positionen von Assistenzgebenden und assistiver Technik sind vertauscht. Technik leitet die Pflegenden an und hat bei der Leistungserbringung die Handlungsmacht inne. Assistenzgebende sind unterschiedlich restriktiv dazu angehalten, die Anweisungen der Technik zu befolgen – wie etwa beim Einsatz von KI-gestützter Software zur Prozessoptimierung (z. B. Tourenplanung) oder bei der Nutzung von algorithmischem Management für Prognosen, Personalauswahl, etc. Die (4) *Kooperations-Triade* kennzeichnet die gemeinsame Assistenzerbringung durch Menschen und Technik. Technik ergänzt damit als Ko-Assistentin menschliche Arbeit. Die Handlungsträgerschaft liegt bei beiden Instanzen und tariert sich im Prozess der Assistenzgebung aus. Dies ist zum Beispiel bei der Nutzung von Exoskeletten zur physischen Entlastung des Pflegepersonals der Fall.

Der Einsatz assistiver Technik wirkt sich auf das Beziehungsgefüge zwischen Assistenznehmenden und Assistenzgebenden bzw. zu Pflegenden und Pflegepersonal aus. Soziotechnische Assistenzbeziehungen formen sich in Abhängigkeit von der Verteilung von Handlungsträgerschaft und der unterschiedlichen Rollen in Pflegesituationen aus. Dies hat Konsequenzen für die Gestaltung personenbezogener Dienstleistungsarbeit.

3. Konsequenzen des erweiterten Arbeitssystem-Modells für die Arbeitsgestaltung

Unter Rekurs auf die Prämisse menschengerechter Arbeitsgestaltung ist Technikeinsatz nicht nur unter Funktionalitäts- und Wirtschaftlichkeitsaspekten zu betrachten. Dienstleistungstechnologien müssen vielmehr so in Arbeitssysteme integriert werden, dass damit auch den in internationalen Normen verankerten Gestaltungskriterien entsprochen wird. Der (bislang verfolgte) alleinige Fokus auf die arbeitenden (assistenzgebenden) Personen greift dabei zu kurz, denn – wie in Abschnitt 2 dargestellt – reagiert auch der „Arbeitsgegenstand Mensch" auf eingesetzte Technik, was wiederum Rückwirkungen auf die assistenzgebende Person haben und damit deren Belastungssituation verändern kann. Die Wechselwirkungsverhältnisse der triadischen Arbeitsbeziehungen werden relevant. Die erweiterte Gestaltungsperspektive erfordert daher einen zusätzlichen Blick auf die Auswirkungen von Technik auf den/ die assistenznehmenden und dessen/ deren Interaktion mit dem-/denjenigen, die diese Assistenz im Rahmen einer Erwerbstätigkeit geben.

Dies kann Gestaltungskonflikte offenlegen: Belastungsgünstige Gestaltung für Assistenzgebende muss nicht zwangsläufig auch günstig oder „im Sinne des/ der" Assistenznehmenden sein. Videogestützte telepflegerische Angebote können für erstere bspw. weniger berufsbedingte Mobilität zur Folge haben (Einsparung von Wegezeiten), gleichzeitig aber seitens der Pflegebedürftigen als „die Interaktion störend" wahrgenommen werden und somit die Belastung des Pflegepersonals negativ beeinflussen. Die Übertragung einer Routineaufgabe (z. B. Überwachung von Vitalparametern) an Technik kann zeitliche Freiheitsgrade generieren, gleichzeitig aber auch zwischenmenschliche Kommunikation von Pflegepersonal und zu Pflegenden reduzieren und so längerfristig die Interaktion beeinträchtigen. Die Beispiele zeigen, dass eine mangelnde Berücksichtigung der Perspektive des/ der Assistenznehmenden (organisationsexternen Person) das Übersehen potenzieller Gestaltungsdefizite auf Seiten der/ des Assistenzgebenden zur Folge haben kann.

Der vorgestellte Ansatz verdeutlicht damit die Notwendigkeit einer sorgfältigen Abschätzung möglicher Auswirkungen des Technik-Einsatzes auch unter Berücksichtigung der Bedürfnisse, Wünsche, Kompetenzen etc. *der/ des Assistenznehmenden.* Für die Arbeitswissenschaften ergeben sich damit gestalterisch relevante Fragen – etwa die, welche Kriterien der Gestaltung im Sinne der/ des Assistenznehmenden zugrunde zu legen sind, wie bei der konkreten Gestaltung in unterschiedlichen beruflichen Kontexten mit der potenziellen Unterschiedlichkeit der Assistenznehmenden im Hinblick auf die genannten Wünsche, Bedürfnisse, Kompetenzen etc. umgegangen werden kann und wie bei den weiter oben dargestellten Zielkonflikte verfahren werden kann. Hierbei ist ein vertiefender Blick auf die jeweiligen Beziehungs- und Interaktionsgefüge (Assistenz-Triaden) unerlässlich. Dieser kann und sollte idealerweise im Rahmen prospektiver, partizipativer Gestaltung erfolgen – möglichst schon während der Entwicklung technischer Anwendungen für interaktive Dienstleistungstätigkeiten (u. a. Parker & Grote 2022). Fragen von Bedarf und Akzeptanz spielen im gesamten Technikgenese-Prozess, von der Ideenfindung bis zur Implementierung in das Arbeitssystem, eine Rolle und werden durch verschiedene Akteurskonstellationen beantwortet (Biniok 2018). Dies ist ein dynamischer (Aushandlungs-)Prozess, bei dem sich Bedingungen (z. B. verfügbare Ressourcen) ändern und damit fortlaufend Anpassungen erforderlich sein können.

4. Resümee

Mit dem Beitrag setzen wir konzeptionelle Ankerpunkte, die Impulse für einen breiten, also interdisziplinären und möglichst vielfältige Stakeholderinnen und Stakeholder integrierenden, Diskurs über menschengerechte Arbeitsgestaltung geben sollen. Der Blick richtete sich spezifisch auf Arbeit in der beruflichen Pflege. Die Erkenntnisse lassen sich jedoch auch auf andere Bereiche personenbezogener Dienstleistungsarbeit übertragen und erzeugen zugleich neue Fragen für Prozesse der Technikentwicklung. Durch die Integration verschiedener Disziplinen-Perspektiven – hier der Arbeitswissenschaften und der Techniksoziologie – können neue Einsichten entstehen, die zur Verbesserung der Arbeitssituation Beschäftigter in gesellschaftlich hoch relevanten Bereichen wie dem Gesundheits- und Sozialwesen wesentlich beitragen.

5. Literatur

Bamberg, E, Ducki A, Janneck, M. (Ed) (2022) Digitale Arbeit Gestalten. Herausforderungen der Digitalisierung für die Gestaltung gesunder Arbeit. Wiesbaden: Springer.

Biniok, P. (2018) Sociotechnical Assistance Ensembles. Negotiations of Needs and Acceptance of Support Technologies. In: Karafillidis, A., Weidner, R. (Ed) Developing Support Technologies. Cham: Springer, 17-25.

Biniok, P. (2022) Assistenztriaden. Abwägungen zu Versorgungssicherheit und Entmenschlichung durch assistive Technologien. In: Luthe, E.-W. Müller, S.V., Schiering, I. (Ed) Assistive Technologien im Sozial- und Gesundheitssektor. Wiesbaden: Springer, 599-621.

Biniok, P., Lettkemann, E. (Ed) (2017) Assistive Gesellschaft. Multidisziplinäre Erkundungen zur Sozialform „Assistenz". Wiesbaden: Springer.

Böhle, F., Weihrich, M. (2020) Das Konzept der Interaktionsarbeit. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 74:9-22.

Braun-Thürmann, H. (2002): Künstliche Interaktion. Wie Technik zur Teilnehmerin sozialer Wirklichkeit wird. Wiesbaden: Westdeutscher Verlag.

Hacker, W. (2009) Arbeitsgegenstand Mensch: Psychologie dialogisch-interaktiver Erwerbsarbeit. Ein Lehrbuch. Lengerich: Pabst Science Publishers.

Kahlert, A., Grote, G. (2024) "Why should I care?": Understanding technology developers' design mindsets in relation to prospective work design. European Journal of Work and Organizational Psychology 33(2):230-244.

Kaminsky, C., Seelmeyer, U., Siebert, S., Werner, P. (Ed) (2020). Digitale Technologien zwischen Lenkung und Selbstermächtigung. Interdisziplinäre Perspektiven. Weinheim, Basel: Belz.

Lutze, M., Dassel, K., Busch, A. (2025) KI in Gesundheitsfachberufen: Entlastungsversprechen im Fokus. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung.

Melzer, M., Rösler, U., Schlicht, L. (2022) Digitale Transformation personenbezogener Arbeit – am Beispiel der professionellen Pflege. In: Bamberg, E., Ducki A., Janneck, M. (Ed) (2022) Digitale Arbeit Gestalten. Herausforderungen der Digitalisierung für die Gestaltung gesunder Arbeit. Wiesbaden: Springer, 147-166.

Parker, S., Grote, G. (2022) Automation, Algorithms, and Beyond: Why Work Design Matters More Than Ever in a Digital World. Applied Psychology An International Review 71(4):1171-1204.

Rammert, W., Schulz-Schaeffer, I. (Ed) (2002) Können Maschinen handeln? Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik. Frankfurt a.M., New York: Campus.

Tisch, A., Wischniewski, S. (Ed) (2022) Sicherheit und Gesundheit in der digitalisierten Arbeitswelt. Kriterien für eine menschengerechte Gestaltung. Baden-Baden: Nomos.

Ulich, E. (2013) Arbeitssysteme als Soziotechnische Systeme – eine Erinnerung. Journal Psychologie des Alltagshandelns 6(1):4-12.

Wirth L.M., Garthaus M., Jalaß, I., Rösler, U., Schlicht, L., Melzer, M., Hülsken-Giesler, M. (2022) Kurz- und mittelfristiger Technologieeinsatz in der Pflege. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. baua: Bericht kompakt. https:// www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Bericht-kompakt/Technologieeinsatz-Pflege.pdf.

Wolf-Ostermann, K., Rothgang, H. (2024) Digitale Technologien in der Pflege: Was können sie leisten? Bundesgesundheitsblatt 67:324-331.

Erfassung, Visualisierung und Vermittlung von Prozesswissen durch Video und Motion Capture in Extended Reality: Design Implikationen einer explorativen Machbarkeitsstudie

Philip Hermann Schäfer[1], Paula Danhausen[2], Helena Knaup[2], Alexander Mertens[1], Verena Nitsch[1]

[1] Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen
Eilfschornsteinstr. 18, D-52062 Aachen
[2] FIR e.V. an der RWTH Aachen
Campus-Boulevard 55, D-52074 Aachen

Kurzfassung: Extended Reality (XR) ermöglicht es, Expertenwissen als Hologramm in eine Arbeitsumgebung zu projizieren. Während XR-vermittelte Instruktionen gegenüber konventionellen Anleitungen zu geringeren Fehlerraten bei der Aufgabendurchführung führen können, zeigen einige Studien auch erhöhte Durchführungszeiten, was auf interaktionsergonomische Gestaltungsdefizite deuten könnte. Dieser Beitrag untersucht die Nutzung eines Erfassungssystems zur Reproduktion eines Montageprozesses. Die Ergebnisse verdeutlichen die zentrale Rolle eines platzierbaren Videostreams bei der Aufgabenbewältigung. Ein Hologramm wurde als soziale Entität wahrgenommen, was gestalterische Maßnahmen über rein ergonomische Kriterien hinaus erforderlich macht. Aufbauend auf den Ergebnissen werden Designimplikationen für die Gestaltung von XR-Assistenzsystemen abgeleitet.

Schlüsselwörter: Motion Capture, Extended Reality, Designimplikationen

1. Einleitung und Stand der Technik

Nicht regelmäßig durchzuführende Prozesse, wie Instandsetzungen, erfordern in der Regel eine wiederkehrende Konsultation der Prozessdokumentation. Konventionell besteht diese aus Text und Abbildungen und erfordert eine kognitive Transformation der Anweisungen in die dreidimensionale Arbeitssituation. Animierte Arbeitsanleitungen auf Bildschirmen können diese Transformation erleichtern: Jeske et al. (2014) zeigten u.a., dass Animationen auf einem Computerbildschirm im Vergleich zu textuellen Instruktionen bei der ersten Ausführung einer Montageaufgabe zu kürzeren Durchführungszeiten führten. XR bietet das Potenzial, Bewegungen einer Arbeitsperson als Hologramm direkt in die Arbeitsumgebung zu projizieren und damit die räumliche Zuordnung weiter zu vereinfachen. Empirische Befunde zur Effektivität von XR-Assistenzsystemen zeigen jedoch ein widersprüchliches Bild: Tecchia & Gavish (2015) beobachteten, dass Nutzende einer XR-vermittelten Anleitung bei Montageaufgaben zwar weniger Fehler machten, jedoch länger für die Durchführung benötigten als die Kontrollgruppe mit konventionellen Anleitungen. Ähnliche Befunde von Rodriguez et al. (2021) zeigten, dass Papieranweisungen zu schnelleren Durchführungszeiten führten als Instruktionen über eine XR-Brille. Eine mögliche Erklärung für die erhöhten Durchführungszeiten in XR könnte an den Herausforderungen der ergonomischen Interaktionsgestaltung liegen.

Während bisherige Arbeiten primär die Effektivität von XR-Assistenzsystemen im Vergleich zu konventionellen Anleitungen untersuchten, konzentriert sich die vorliegende Machbarkeitsstudie auf die nutzerzentrierte Gestaltung der Wissensvermittlung in XR selbst.

2. Systemarchitektur: Digitalisierung und Wiedergabe von Prozesswissen

Im Unterschied zu bestehenden Ansätzen wird erstmals ein Erfassungssystem vorgestellt, das ein stationäres Motion-Capture-System mit einer kopfgetragenen Kamera kombiniert, um sowohl präzise Bewegungsdaten einer Arbeitsperson als auch kontextuelle visuelle Informationen zu erfassen. Die so digitalisierten Bewegungen werden in einer XR-Umgebung als lebensgroßes Hologramm in Form eines anthropomorphen Skeletts mit einer Körpergröße von 184 cm dargestellt und mit synchronisiertem Ego-Perspektive-Video in die physische Umgebung projiziert. Der zentrale Beitrag dieser Arbeit liegt in der explorativen Untersuchung der Mensch-Hologramm-Interaktion während realer Arbeitsprozesse und der daraus abgeleiteten Gestaltungsempfehlungen für zukünftige räumliche Assistenzsysteme.

2.1 Datenerfassung: Aufnahme eines Montageprozesses

Während das Motion Capture (MoCap) System „the Captury“[3] hochpräzise kinematische Daten aufzeichnet, dient eine kopfgetragene GoPro Hero 11 Black[4] der Erfassung des visuellen Fokus und kontextueller Details. Mittels eines Kopfgurtes wird die Kamera so getragen, dass ein Videostream aus der Ego-Perspektive aufgenommen wird. Es wurden keine weiteren Sensoren am Körper der Arbeitsperson angebracht und die Hände können uneingeschränkt genutzt werden. Auf diese Weise können Expert:innen einen Montageprozess wie gewohnt ausführen, während Bewegungen und Handlungen vollumfänglich aufgezeichnet werden. In einem vorhergegangenen Feldversuch mit einem kamerabasierten MoCap System konnte bereits gezeigt werden, wie visuelles MoCap im industriellen Umfeld unter realistischen Bedingungen eingesetzt werden kann (Schäfer et al., 2025).

Nach der Aufzeichnung werden die MoCap-Daten mit denen des Videostreams anhand standardisierter Zeitstempel synchronisiert. Dadurch wird sichergestellt, dass die aufgezeichneten Bewegungsdaten exakt parallel ablaufen: Wenn das Hologramm in der späteren Wiedergabe beispielsweise eine Greifbewegung ausführt, zeigt das Video synchron die Hand der Expert:innen beim Greifen aus deren Blickwinkel. Dies ermöglicht es den Nutzenden, sowohl die räumliche Bewegung (über das Hologramm) als auch die detaillierten Handlungen (über das Video) gleichzeitig nachzuvollziehen.

2.2 Assistive Anwendung: Die XR-Wiedergabeumgebung

Die Wiedergabe der aufgezeichneten Arbeitsprozesse erfolgt über das XR-Headset Meta Quest 3. Diese zeigt die Bewegungen der Person maßstabsgetreu in die reale Arbeitsumgebung der Nutzenden. Ziel ist es, das Hologramm als Referenz zu schaffen, an der sich die Nutzenden räumlich orientieren können. Die Anwendung bietet zwei Modi zur Videoanzeige: (1) Ein fest mit dem Hologramm verbundener

[3] https://captury.com/
[4] https://gopro.com/de/de/shop/cameras/hero11-black/CHDHX-111-master.html

Videostream oberhalb des Hologramms, und (2) ein optional einblendbares, frei im Raum platzierbares Videofenster zur individuellen Arbeitsplatzgestaltung (vgl. Abbildung 1, rechts).

Zur Steuerung des Videostreams wurde ein Handmenü (vgl. Abb. 1, links) sowie eine Zeitleiste unter der Videoausgabe eingefügt. Die XR-Anwendung konnte ohne Controller mit den Händen bedient werden. Das Handmenü wird eingeblendet, sobald die Benutzenden ihr linkes Handgelenk zu sich eindrehen, als würden sie auf eine Armbanduhr schauen. Über das Menü kann der Arbeitsprozess pausiert und wiederaufgenommen werden. Dafür wurden mehrere Buttons mit selbstbeschreibungsfähigen Icons implementiert. Mittels der Zeitleiste kann ein Zeitabschnitt direkt angesteuert werden. Zusätzlich lässt sich über das Handmenü ein Fenster mit dem Videostream der Ego-Perspektive ein- oder ausblenden, welches anschließend im Raum platziert werden kann.

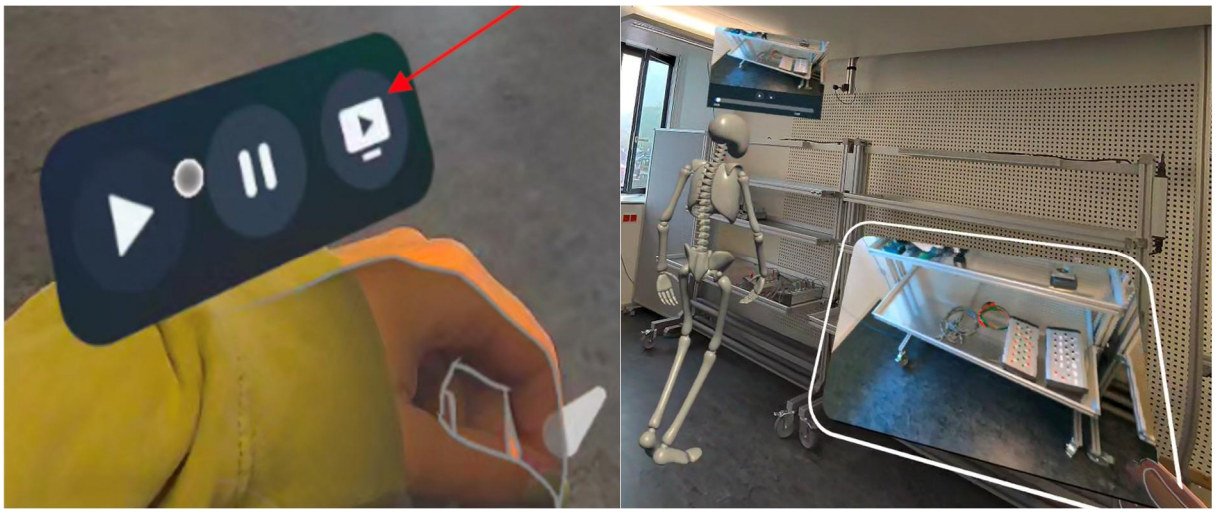


***Abbildung 1**: (links) Über das Handmenü können das Hologramm und der synchronisierte Videostream abgespielt und pausieren werden. Das per Pfeil markierte Videosymbol blendet das (rechts) gezeigte Videofenster ein. Über die Zeitleiste, sichtbar im Videostream über dem Skelett, können Zeitsprünge gesteuert werden.*

3. Explorative Voruntersuchung

Die explorative Machbarkeitsstudie hatte primär das Ziel, den Einfluss des Hologramms auf das Nutzerverhalten während der Ausführung der Arbeitsaufgabe zu erfassen. Die Ergebnisse dienen als Grundlage, um Designimplikationen für die menschengerechte Gestaltung räumlicher Assistenzsysteme mit humanoiden Hologrammen ableiten zu können.

Den Kern der Untersuchung bildete die Reproduktion eines Montageprozesses, welcher mit Hilfe der XR-Anwendung nachgestellt werden sollte. Dieser Prozess erfordert sowohl räumliche Orientierung als auch motorische Handhabung.

3.1 Szenario und Aufgabenstellung

Die Gesamtaufgabe gliederte sich in drei aufeinanderfolgende Phasen:

Arbeitsplatzvorbereitung (1): Die Teilnehmenden mussten zunächst die benötigten Komponenten und Werkzeuge aus verschiedenen Lagerschränken und Regalen der Werkstatt zusammentragen. Hierbei stand die räumliche Führung durch das Hologramm im Vordergrund, um die korrekte Lokalisierung des Materials

sicherzustellen. Verkabelung (2): Am Arbeitstisch mussten mehrere Kabelverbindungen gesteckt werden. Dieser Schritt erforderte Detailinformationen, welche aus dem Videostream entnommen werden konnten. Positionierung und Endmontage (3): Die fertig montierten Komponenten mussten an unterschiedliche Einsatzorte innerhalb der Werkstattumgebung gebracht und abschließend Schraub- und Verbindungsstangen angezogen werden. Für diesen Abschnitt wurde das Prozesswissen mithilfe des Hologramms zur Einhaltung einer vorgegebenen Montage-Reihenfolge zur Verfügung gestellt, sowie die Detailinformationen des Videostreams für die korrekte Installation der Komponenten.

3.2 Erhebungsmethoden und Teilnehmende

An der Untersuchung nahmen acht Studierende (4 weiblich) im Alter zwischen 20 und 34 Jahren unterschiedlicher Fachrichtungen ohne aufgabenspezifische Montagevorerfahrung teil.

Bevor der Montageprozess begann, durchliefen die Probanden ein Tutorial zu den wichtigsten Funktionen der Anwendung. Während dieser Phase konnten sie alle Funktionen ohne Zeitdruck explorieren und Fragen zur Bedienung an die Versuchsleitung stellen.

Für die Analyse wurden der Montageprozess live von der Versuchsleitung beobachtet, sowie Videoaufnahmen aus verschiedenen Blickwinkeln der Werkstatt und die XR-Applikation aus der Egoperspektive der Probanden als Videos aufgenommen. Abschließend wurde ein leitfadengestütztes Follow-Up-Interview geführt.

4. Ergebnisse

Alle acht Teilnehmenden konnten mit Hilfe der XR-Anwendung den Montageprozess erfolgreich reproduzieren. Die Analyse der Videoaufzeichnungen, Interviews sowie die Protokolle der teilnehmenden Beobachtung zeigten folgende zentrale Resultate:

4.1 Videostream

Alle acht Teilnehmenden nutzten den verschiebbaren Videostream aktiv während der Aufgabendurchführung. Die Auswertung der Bildschirmaufnahmen zeigte, dass alle Proband:innen nach kurzer Eingewöhnung in der Lage waren, den Videostream zu skalieren und im Raum zu platzieren. Die Teilnehmenden positionierten den Videostream typischerweise so, dass er bei stationären Tätigkeiten im peripheren Sichtfeld sichtbar war, ohne wichtige Elemente der physischen Umgebung zu verdecken. Die Interviews bestätigten die zentrale Rolle des Videostreams bei der Aufgabenbewältigung. Negativ wurde angemerkt, dass die Videoauflösung zu gering ist, was ein limitierender Faktor der verwendeten Technik ist.

Das Handmenü wurde von allen Proband:innen ohne erkennbare Schwierigkeiten genutzt. In vereinzelten Fällen wurde das Handmenü unbeabsichtigt eingeblendet, wenn Teilnehmende beim Setzen von Steckverbindungen ihr Handgelenk eindrehten. Dies wurde jedoch nicht als störend bewertet.

Der fest mit dem Hologramm verbundene Videostream über dem Kopf des Avatars wurde hingegen seltener genutzt und war fehleranfällig, was zu spürbarer Frustration bei manchen Teilnehmenden führte. Die Bedienung der Zeitleiste an diesem

Videostream erwies sich beim Vor- und Zurückspulen als zu ungenau, insbesondere bei Teilnehmenden mit geringerer Körpergröße, oder falls die Zeitleiste aus einer größeren Distanz bedient wurde.

4.2 Hologramm

Beobachtungen zeigten, dass sechs von acht Teilnehmenden dem Hologramm proaktiv auswichen, wenn es sich auf sie zubewegte. Dieses Ausweichverhalten trat insbesondere in der ersten Hälfte des Montageprozesses auf. Bei zwei Teilnehmenden war eine Schreckreaktion zu beobachten, als das Hologramm unerwartet von hinten durch sie hindurchlief bzw. unerwartet im Sichtfeld auftauchte.

Trotz der implementierten Transparenz-Funktion (graduell ab 100 cm Abstand) blieb das Hologramm zu jedem Zeitpunkt sichtbar. Bei schnellen Bewegungen des Hologramms in Richtung der Probanden oder wenn Tätigkeiten stationär neben dem Hologramm ausgeführt werden sollten, wurde die Transparenz als nicht ausreichend und die Präsenz des Hologramms als störend wahrgenommen. Eine Teilnehmende empfand die Begegnungen mit dem Hologramm aufgrund der Größe des Hologramms als einschüchternd, insbesondere wenn dieses frontal auf sie zulief. Die Repräsentation des Hologramms als Skelett verstärkte diesen Effekt laut eigener Einschätzung der Teilnehmenden.

Im Zeitverlauf ließ sich eine Gewöhnung beobachten: Teilnehmende, die anfangs dem Hologramm auswichen, ließen sich in späteren Phasen weniger von dessen Dasein beeinflussen und bestätigten dies im Follow-Up Interview.

5. Diskussion und Designimplikationen

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Bereitstellung von Prozesswissen in XR grundsätzlich funktional ist, jedoch erhebliche Anforderungen an die proxemische Gestaltung des Hologramms stellt. Reaktionen, wie Ausweichen oder ein bedrängendes Gefühl bei zu starker Nähe deuten darauf hin, dass das anthropomorphe Hologramm von den Teilnehmenden nicht lediglich als visuelles Informationsmedium, sondern als soziale Entität wahrgenommen wurde, was im virtuellen Raum auch als Soziale Präsenz bekannt ist (Oh et al., 2018). Diese Zuschreibung führt dazu, dass die Anforderungen an die Gestaltung über rein ergonomische Kriterien hinausgehen und Regeln der zwischenmenschlichen Interaktion berücksichtigen werden müssen. Die Beobachtungen, dass Probanden dem Hologramm proaktiv auswichen, korreliert mit Erkenntnissen aus der Sozialpsychologie über den persönlichen Raum, welcher bereits von (Bailenson et al., 2003) in virtuellen Umgebungen beobachtet wurde. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde bereits im Design der Anwendung eine graduell zunehmende Transparenz des Hologramms ab 100 cm Abstand implementiert, um proxemische Konflikte zu minimieren. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen jedoch, dass diese Maßnahme nicht ausreichend war.

Auf Basis der Erkenntnisse werden folgende konkrete Empfehlungen für die Gestaltung zukünftiger prozesswissensvermittelnder hybrider XR-Assistenzsysteme mit anthropomorphen Hologrammen abgeleitet:

Designimplikationen	Details
Adaptive Repräsentation	*Problem:* Anthropomorphe Darstellung des Hologramms aktiviert soziale Erwartungen (Ausweichen, Distanzwahrung), welche bedingt umsetzbar sind. *Möglicher Lösungsansatz:* Graduelle Adaption • Fernbereich: Vollständiges Hologramm mit Details • Mittelbereich: Graduelle übergehende Transparenz • Nahbereich: Stark reduzierte Darstellung (z.B. Fußspuren, animierte Hände) • Überlappungsbereich: Vollständige Transparenz
Anthropomorphe Anpassung	*Problem*: Bedrohliche Wahrnehmung des Hologramms *Möglicher Lösungsansatz:* Abschwächung durch Adaption von Größe und Erscheinungsform (abstrakte, stilisierte Darstellung)
Körpergebundene Steuerelemente	*Problem:* Steuerelemente müssen nutzer- und ortsunabhängig erreichbar sein. *Möglicher Lösungsansatz:* Körpergebundene Steuerungselemente, wie das verwendete Handmenü, zeigten spezifische Vorteile: konstante Erreichbarkeit unabhängig von Körpergröße, keine Suchbewegungen im Raum. Dieser Ansatz kann besonders bei dynamischen Arbeitsprozessen mit häufigen Ortswechseln relevant sein.
Prozessnavigation	*Problem: Zeitleiste für präzise Navigation zu ungenau.* *Möglicher Lösungsansatz: Diskrete, icon-basierte Zeitsprünge (z.B. in 1,5 und 10 Sekunden Schritte) ermöglicht genauere Navigation ohne feinmotorische Bedienung.*

6. Literatur

Bailenson, J. N., Blascovich, J., Beall, A. C., & Loomis, J. M. (2003). Interpersonal Distance in Immersive Virtual Environments. Personality and Social Psychology Bulletin, 29(7), 819–833.

Freydank, E., Kießling, N., Seyfried, L., & Cencic, M. R. (2026). Transforming Industrial Training: A Comparative Study of Volumetric Video in Mixed Reality and Paper-Based Instructions. In L. T. De Paolis, P. Arpaia, & M. Sacco (Eds.), Extended Reality (pp. 456–466). Springer Nature Switzerland.

Jeske, T., Schlick, C. M., & Mütze-Niewöhner, S. (2014). Unterstützung von Lernprozessen bei Montageaufgaben. In C. M. Schlick, K. Moser, & M. Schenk (Eds.), Flexible Produktionskapazität innovativ managen: Handlungsempfehlungen für die flexible Gestaltung von Produktionssystemen in kleinen und mittleren Unternehmen (pp. 163–192). Springer.

Oh, C. S., Bailenson, J. N., & Welch, G. F. (2018). A Systematic Review of Social Presence: Definition, Antecedents, and Implications. Frontiers in Robotics and AI, 5, 114. https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00114

Rodriguez, F. S., Saleem, K., Spilski, J., & Lachmann, T. (2021). Performance differences between instructions on paper vs digital glasses for a simple assembly task. Applied Ergonomics, 94, 103423.

Schäfer, P. H., Mertens, A., & Nitsch, V. (2025). Envisioning Tomorrow's Assembly Workplace: Insights from a User-Centric Development Process Integrating Motion Capture and Mixed Reality. Arbeit 5.0: Menschzentrierte Innovationen Für die Zukunft der Arbeit, 71.

Sirakaya, M., & Kilic Cakmak, E. (2018). Effects of Augmented Reality on Student Achievement and Self-Efficacy in Vocational Education and Training. International Journal for Research in Vocational Education and Training, 5(1), 1–18. h

Tecchia, F., & Gavish, N. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. Interactive Learning Environments.

Yoganathan, S., Finch, D. A., Parkin, E., & Pollard, J. (2018). 360° virtual reality video for the acquisition of knot tying skills: A randomised controlled trial. International Journal of Surgery, 54, 24–27.

Danksagung: Diese Forschungsarbeit wurde im Rahmen des AKzentE4.0 Projektes (02L19C400) durchgeführt und durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) unter Betreuung vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) im Programm „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit gefördert.

Expert Review of a VR-based Interactive Demonstrator for Teleoperations in Human-Robot Collaborative Applications: Robot Assisted Surface Grinding of Complex Workpieces

Srikanth NOUDURI, Alexander MERTENS, Verena NITSCH

Institute of Industrial Engineering and Ergonomics of RWTH Aachen University
Eilfschornsteinstraße 18, D-52062 Aachen

Abstract: Emerging technologies like Digital Twins (DT), Virtual Reality (VR), bilateral haptic devices are enhancing telepresence and teleoperation prospects in Human Robot Collaborative (HRC) applications like robot assisted surface grinding. However, the sim-to-real gap is still persistent in these dynamic tooling tasks and to address this research topic, we proposed a VR-based interactive demonstrator that enables users in teleoperating virtual robotic arms and executing grinding operations on simulated workpieces. Later, we conducted Human-In-The-Loop (HITL) simulations with a mixed panel of experts from academia and industry to evaluate multimodal user perceptions within this immersive framework. Expert reviews of the working prototype addressed topics like operational control, haptic fidelity, and user experiences in VR. This article elaborates on qualitative and quantitative feedback obtained through semi-structured interviews along with results from descriptive analysis of their assessments.

Key Words: Teleoperations, Surface Grinding, Virtual Reality, Tactile Perception, Haptic Force Feedback, Mental Workloads

1. Introduction

Industrial robotic manipulators are still facing limitations in applications like surface treatment of custom designed mechanical components in low-volume production facilities. Here, experienced human workers who have profound technical expertise in the field and can offer more manufacturing flexibility than their robotic counterparts are employed for manual grinding tasks. These professionals are highly skilled in observing variations in the Key Grinding Parameters (KGP), exploring them and determining the required mechanical effort to achieve the desired surface finish across various geometric attributes of complex workpieces. However, such tedious tasks can be unsafe for human operators in the long term, particularly in terms of ergonomics and safety concerns (with dust and noise exposure) more specifically, when machining composite materials like Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP). This indicates the relevance of interactive platforms with telepresence and teleoperation prospects for robot assisted surface grinding operations. In this regard, VR-based HITL simulation frameworks play a vital role in the development of such HRC applications. Moreover, integrating haptic feedback information along with high-definition visuals and auditory cues in VR, could enhance immersion (Bouzbib et al., 2022), improve augmented tactile perceptions (Sun, Z., et al., 2022), and compliance illusions (AliAbbasi et al., 2025) in such simulation frameworks. In this context, researchers working in this field were able to simulate mechanical operations with workpieces having different material characteristics (Tzimos et al., 2025), investigated expert know-how in machining these

workpieces (González, C., et al., 2021) and even evaluated teleoperations in HRC applications that demanded high precision output (Schleer, P., et al., 2020).

Although current literature indicated benefits of including haptic interfaces in VR frameworks, multi-sensory user perceptions specific to dynamic tooling tasks are still underrepresented and there is still significant sim-to-real gap for teleoperations in such HRC applications. To address these research topics, an interactive demonstrator was developed as a part of project AKzentE4.0, where users could teleoperate virtual robotic arms while being a part of a simulation loop in VR and execute tooling tasks like surface grinding on complex workpiece geometries by having real-time haptic force feedback from the simulated machining operations. The proposed demonstrator was reviewed (through HITL simulations) by experts in the field of Human-Machine-Systems (HMS) from academia along with domain experts trained in manual grinding operations from the industry, to evaluate the simulation framework on topics like operational control, haptic fidelity, and user experiences in VR. We obtained quantitative and qualitative feedback upon prototype evaluation through semi-structured interviews, and this article elaborates on our research findings along with results from descriptive analysis of their assessments.

2. Methodology

2.1 System Design and Implementation

The proposed demonstrator enabled participants immersed in a VR environment (a virtual laboratory setup built in Unity-3D) to leverage multi-sensory perception with visual and haptic cues. The system architecture (as depicted in Fig.1) was adopted for HITL simulations, where a virtual robotic arm and the attached machine tool at its Tool Center Point (TCP) could be controlled with the help of dominant-handheld stylus movements of the bilateral haptic device (Geomagic TouchX). While visuo-haptic illusion helped participants in contact establishment between the machine tool and the workpieces, the force feedback from the haptic device introduced surface characteristics during the mechanical operations. By observing variations in surface textures with vibrotactile perceptions, participants were able to modify operational parameters (KGPs) accordingly, to achieve the desired surface finish. Having user actions being closely coupled to multi-sensory cues in VR, made this demonstrator a bi-directional closed-loop simulation framework suitable for HITL simulation-based empirical evaluations.

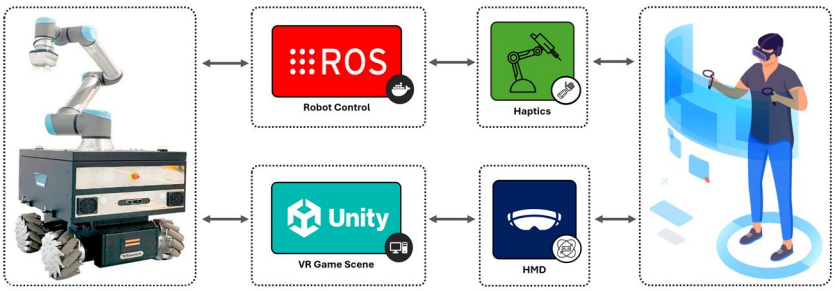


***Figure 1**: System Design of the VR-based Interactive Demonstrator.*

2.2 Material Modelling and Bi-lateral Haptic Feedback

During these experimental trials, participants investigated the demonstrator for grinding multiple workpieces (A, B, C) with varying form factors and having intricate geometric complications as depicted in (Fig. 2). These include machined drill holes on flat surfaces, narrow passages on conical cut-out sections, irregular groves on oblique shaped objects. These workpieces were modelled with different material characteristics such as stiffness, static and dynamic surface friction coefficients, etc. Here, the haptic force feedback experienced by participants reflected the collisions dynamics between the DT models of the machine tool and workpieces. Where the resultant force vector encapsulated normal reaction forces that arose due to material stiffness along with tangential resistance in terms of frictional forces mimicking surface roughness of various workpieces. The dynamic friction coefficients of workpieces were modelled as a nonlinear function of certain operational parameters such as machine tool's orientation, grinding velocity and reaction force magnitudes, etc. Continuous and repeated grinding actions of the participants caused consecutive collisions across each mesh element on the outer surfaces of these workpieces. This led to an incremental reduction of dynamic friction coefficient with lowered force feedback (tangential resistance) and resulted in an illusion of the material removal process.

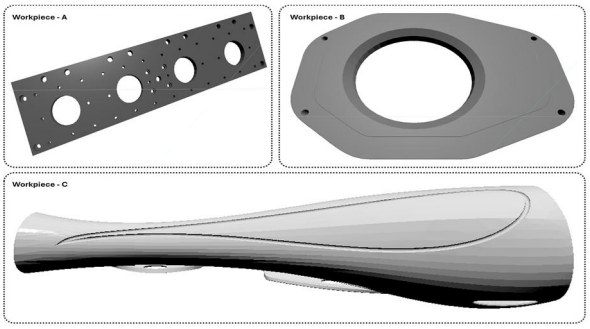


***Figure 2**: Workpieces with Intricate Geometric Complications.*

3. Results

The proposed demonstrator was evaluated with a mixed panel of (n=6) HMS experts from academia (group: A) and (n=3) domain experts from the industry (group: I) with multidisciplinary research, work backgrounds (engineering, informatics, psychology). While both the groups had prior experience in mechanical operations (A: mean=3.0, median=4.0, SD=1.41, range: [1,4]); (I: mean=4.0, median=4.0, SD=1.0, range: [3,5]), they have varied prior experience in the fields of VR, haptics (A: mean=3.4, median=4.0, SD=1.34, range: [2,5]); (I: mean=1.67, median=2.0, SD=0.58, range: [1,2]) on scale: [1-5]. During the experimental study, all the participants started with a simple workpiece such as flat surfaced metal plate (A). Later, they proceeded with more complex geometries such as a conical cut-out section of a seal flange (B) and finished grinding over an oblique shaped prosthetic cover (C). After prototype evaluation, semi-structured interviews were conducted, and subjective assessments were collected at the end of the experiments on a Likert scale [1-5]. Due to the small sample size and ordinal nature of the acquired data, non-parametric statistics were used, and the following results should be interpreted as exploratory:

3.1 Operational Control

All the participants rated the system highly for its accuracy in identifying initial contact between the machine tool and workpieces (A: mean=4.4, median=4.0, SD=0.55, range: [4,5]); (I: mean=3.5, median=3.5, SD=0.71, range: [3,4]). In addition, they rated the system positively for providing expected responses to their hand movements (A: mean=3.6, median=4, SD=0.89, range: [2,4]); (I: mean=4, median=4.0, SD=1.0, range: [3,5]). However, both groups rated the system differently for enabling them to have precise control of the machine tool during the simulated grinding operations (A: mean=3.6, median=4, SD=0.55, range: [3,4]); (I: mean=2.33, median=2.0, SD=0.58, range: [2,3]) and for the perception of realism of the force feedback resulting from collision dynamics (A: mean=2.67, median=2.5, SD=0.82, range: [2,4]); (I: mean=4.0, median=4.0, range: [4,4]), indicating more room for improvements in rendering haptic force dynamics specific to these tooling tasks.

3.2 Haptic Fidelity

All the participants indicated that the haptic responses were reliable with consistent force feedback (A: mean=4.0, median=4, SD=0.82, range: [3,5]); (I: mean=2.67, median=3, SD=1.53, range: [1,4]) across repeated interactions throughout the experimentation. However, both the groups rated the system differently on the effectiveness of these haptic responses for making vibro-tactile perceptions. While one group rated high (A: mean=4.0, median=4.0, SD=0.71, range: [3,5]), the other group rated low (I: mean=2.33, median=3.0, SD=1.15, range: [1,3]). Although both the groups had positive ratings on the system in terms of surface texture distinguishability (A: mean=3.75, median=3.5, SD=0.96, range: [3,5]); (I: mean=3.67, median=4.0, SD=0.58, range: [3,4]), they had mixed impressions on the surface roughness representation (A: mean=3.5, median=4.0, SD=1.0, range: [2,4]); (I: mean=2.67, median=3.0, SD=0.58, range: [2,3]) indicating moderate inter-participant variability.

3.3 Multimodal Integration

Integrating haptic interfaces in the proposed VR framework enhanced the interaction sense in participants and this could be observed from participants' ratings (A: mean=4.0, median=4.0, SD= 0.71, range: [3,5]); (I: mean=2.67, median=3.0, SD= 0.58, range: [2,3]). They also had reasonably coherent feedback (A: mean=3.5, median=3.5, SD=1.29, range: [2,5]); (I: mean=2.67, median=3.0, SD=0.58, range: [2,3]) when it came to integration of multi-sensory cues. With close-to-reality visualizations, all participants indicated good contribution towards presence and immersion in VR. However, in terms of usability, two of them pointed to latency issues in visuals causing simulator sickness tendencies after an hour-long experimentation session.

4. Discussions

The proposed demonstrator served as an interactive platform during our attempts to evaluate the sim-to-real gap in teleoperated HRC applications. By having experts as a part of the simulation loop, we were able to demonstrate dynamic tooling tasks like robot assisted surface grinding and present the results from experts' review of the

overall simulation framework in terms of immersion, presence, effectiveness in compliance illusions and tactile perceptions, etc. Besides quantitative assessments addressed in the previous sections, qualitative feedback was also obtained through semi-structured interviews with domain experts.

During the initial experimental trials, experts indicated vibrotactile responses when the machine tool was approaching workpieces and indicated prominent haptic force feedback while traversing across sharp edges. This could have resulted from simulation settings having higher contact detection threshold and these issues were quickly resolved by lowering this value to (0.5 mm), while avoiding issues like latency or instability that may arise due to computational overload. To conduct more precise simulations with threshold requirements up to (0.1 mm), we scaled up the DT models in Unity-3D. For this, application specific calibration parameters along with additional scaling factors for VR-based teleoperation tasks were necessary to map participants' hand strokes with the robot's end effector and the attached tool movements within the robot dexterity. Prospective users of these simulation frameworks could explore such avenues in HRC applications with limitless capabilities of these VR-based interactive demonstrators (Nouduri, et al., 2025). In scenarios when experts accidentally misjudged the point of contact and applied additional force input, they could have observed elasticity induced haptic response (when working on materials modelled with relatively lower stiffness grades) and/or tunneling-through effects (when the exerted force was beyond hardware limits). Since visualizations of material deformations were out of the scope of this work, all the digital assets were modelled as rigid objects in these simulations, and when the colliding parts remained in contact, it was interpreted as mismatch in visuo-haptic cues. However, when these hardware limitations and the simulation constraints were explained to the experts, they got swiftly accustomed to the interplay between visual, haptic cues and were able to map their inputs to the haptic device sensitivity with minimal efforts. Additionally, they were able to reposition workpiece DT models into ergonomically favorable positions using grab interactions in VR, which reduced handling constraints and improved visual access, more specifically for complex workpieces (B, C). Although material modelling of these workpieces played a vital role in enhancing their perception of realism, experts indicated room for improvements in the closed-loop control architectures and the simulated collision dynamics. Overall, these experimental investigations in VR reassured the relevance of physics-based simulations of material removal process for minimizing the sim-to-real gap. Integrating multi-sensory cues into a bi-directional closed-loop simulation framework enabled experts to clearly establish tactile perceptions of surface roughness on individual workpieces through repeated interactions. They were able to easily distinguish surface characteristics, despite having geometric complications on flat, curved, oblique shaped workpieces and were able to clearly perceive decreasing surface roughness over time. In this regard, experts were able to adapt their hand-strokes for modifying operational parameters as the task progressed. For example, participants successfully navigated the machine tool through narrow passages and grooves on workpieces (B, C) and experienced an illusion of material removal as they observed the outer surfaces of the workpieces becoming smoother. By observing these changes in surface characteristics through vibrotactile perceptions, experts were able to modify the grinding velocity and lower the grinding force inputs during these experimental scenarios. However, domain experts specifically indicated missing haptic feedback information at their non-dominant hand and expressed difficulty in differentiating surface textures over multiple workpieces (with different material stiffness grades) from haptic force feedback obtained through a single stylus alone.

Although quick orientation with demo scenarios was sufficient for experts to grasp the technical concepts of this demonstrator and objectives of these experiments, we recommend prospective users of these interactive demonstrators to host induction training sessions prior to the deployment into production, as domain experts may not be familiar with teleoperations through these VR frameworks, unlike their usual manual grinding tasks at work. From experiments with experts in the field, we were able to identify a wide range of application prospects that could be realized with this interactive demonstrator. These include VR-based training solutions for prospective users to gain skillsets in teleoperating robotic arms in real-life, telepresence for teaching semi-autonomous robotic arms and for correcting planned toolpath from a remote location to ensure precise control of the machine tool movements through intricate geometries.

5. Outlook

The proposed demonstrator was a proof-of-concept of a VR framework facilitating immersive user interactions as a part of HITL simulations of mechanical operations. This work addressed crucial aspects for bridging the sim-to-real gap in dynamic tooling tasks and addressed demonstrator's limitations along with investigations necessary to extend this framework for real-life teleoperation tasks. Future work includes empirical evaluations of operators' mental workloads and their performance during teleoperated robot grinding and other HRC operations that demand high precision output.

6. References

AliAbbasi, E., et al., (2025) "Physical Compliance and the Compliance Illusion: The Importance of Action for Perception," *2025 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, pp.: 349-356, https://doi.org/10.1109/WHC64065.2025.11123193

Bouzbib, E., et al., (2022) "Can I Touch This?": Survey of Virtual Reality Interactions via Haptic Solutions, Proceedings of the 32nd Conference on l'Interaction Homme-Machine, Vol.: 9, pp.: 1–16, https://doi.org/10.1145/3450522.3451323

González, C., et al., (2021) "Advanced teleoperation and control system for industrial robots based on augmented virtuality and haptic feedback", Journal of Manufacturing Systems, vol.: 59, pp.: 283-298, https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.02.013

Nouduri, S., et al., (2025) "Towards Autonomous Collaborative Robot Assistance in Stationary Tooling Tasks: Lessons Learned from Empirical Evaluations in VR", *9th International Conference on Robotics and Automation Sciences (ICRAS)*, pp.: 1-6, https://doi.org/10.1109/ICRAS65818.2025.11108805

Schleer, P., et al., (2020) "Augmentation of haptic feedback for teleoperated robotic surgery". Int J CARS vol. 15, pp.: 515–529, https://doi.org/10.1007/s11548-020-02118-x

Sun, Z., *et al.,* (2022) Augmented tactile-perception and haptic-feedback rings as human-machine interfaces aiming for immersive interactions, *13:5224*, https://doi.org/10.1038/s41467-022-32745-8

Tzimos, N., et al., (2025), "Multimodal Interaction with Haptic Interfaces on 3D Objects in Virtual Reality", Electronics, 14(20), 4035, https://doi.org/10.3390/electronics14204035

Acknowledgments: This research was conducted as part of project AKzentE4.0 (02L19C400) and funded by the German Federal Ministry of Research, Technology, and Space (BMFTR) under the supervision of the Project Management Agency Karlsruhe (PTKA) as part of the program "Future of Value Creation – Research on Production, Services, and Work".

Vom operativen zum strategischen Einkauf in KMU durch datengetriebene Entscheidungsunterstützung zur Bewältigung von Unsicherheiten

Joschua SCHULTE-TIGGES[1], David KEITEL[1], Ercan CÜCEOGLU[2], Stefan SCHIFFER[1], Alexander FERREIN[1]

[1] Institut für Mobile Autonome Systeme und Kognitive Robotik (MASKOR)
Fachhochschule Aachen, Eupener Straße 70, D-52066 Aachen
[2] Fecken-Kirfel GmbH & Co. KG
Prager Ring 1-15, D-52070 Aachen

Kurzfassung: Kleine und mittlere Unternehmen stehen vor Herausforderungen durch Lieferengpässe und Preissteigerungen, verfügen jedoch nicht über systematische Methoden zur datengestützten Unterstützung von Einkaufsentscheidungen. Diese Arbeit präsentiert ein Analysetool zur Bewertung von Lieferanten anhand von Kennzahlen wie Liefertreue, Preisentwicklung und Reklamationsquoten. Die Literatur belegt das Potenzial datengetriebener Systeme in der Beschaffung, zeigt jedoch, dass KMU bei der Integration meist auf intuitive Entscheidungen zurückgreifen. In einem iterativen Prozess wurden historische Bestelldaten eines produzierenden KMU im Bereich Schneidemaschinen analysiert und in enger Zusammenarbeit mit Mitarbeitenden aus dem Einkauf ein Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung entwickelt. Das Tool ermöglicht fundierte Einkaufsentscheidungen durch Integration von Erfahrungswissen und statistischen Auswertungen, wobei konsistente Datenstrukturen als essenzielle Voraussetzung identifiziert wurden.

Schlüsselwörter: Entscheidungsunterstützung, KMU-Einkauf, Lieferantenanalyse, Preisentwicklung, Liefertreue, Datenanalyse

1. Einleitung

Ursprünglich wurde das dieser Arbeit zugrunde liegende Projekt initiiert, um Lieferzeiten besser vorherzusagen. In den letzten Jahren gibt es immer häufiger Lieferengpässe, insbesondere von elektronischen Bauteilen. Bei vielen Produkten sind neben den Lieferengpässen auch enorme Preissteigerungen zu verzeichnen. Der Einkauf wird hierdurch vor Herausforderungen gestellt, für die neue Methoden gefunden werden sollen. Von Vorteil ist hier, dass in einem Unternehmen oft über viele Jahre Daten über Bestellungen gesammelt wurden, die Rückschlüsse auf die Lieferzeiten, Liefertreue, Preisentwicklung sowie Reklamationen geben. Eine solche große Datenlage war bei diesem Projekt eine Voraussetzung, um statistische Datenauswertung betreiben zu können.

In einem iterativen Prozess wurde ein Tool entwickelt, um die Mitarbeitenden im Einkauf zu unterstützen. Dieses Werkzeug ermöglicht eine umfassende Analyse von Lieferanten und deren Artikeln. So kann gezielt nach einzelnen Lieferanten gefiltert werden, um versprochene Lieferzeiten mit den tatsächlichen zu vergleichen. Ferner können detaillierte Artikeldaten eingesehen werden, um die Preisentwicklung einzelner Produkte nachzuvollziehen. Diese lassen sich zudem mit frei auswählbaren

Artikelgruppen vergleichen, um belastbare Aussagen über Preisentwicklungen im Kontext zu treffen. Auch eine zeitliche Filterung ist möglich, um nicht repräsentative oder veraltete Daten auszuschließen. Auf Basis dieser Informationen können Lieferanten hinsichtlich ihrer Liefertreue, Preisentwicklung und der Einhaltung zugesicherter Lieferzeiten bewertet werden.

Neben dieser Analysefunktion bietet das Tool auch die Ausgabe genereller Statistiken. Beispielsweise wird aufgezeigt, welche Lieferanten im Hinblick auf die Lieferzeit besonders positiv oder negativ auffallen. Ebenso kann ermittelt werden, welche Artikel prozentual oder absolut die höchsten Preisanstiege verzeichnen, perspektivisch auch filterbar nach Lieferanten. Zudem erlaubt das Tool eine Auswertung, welche Artikel besonders häufig in Maschinen verbaut werden, sowohl prozentual als auch absolut, mit einer geplanten Möglichkeit zur gezielten Filterung. Auch Aussagen darüber, welche Lieferanten am häufigsten Artikel reklamieren oder welche Artikel am häufigsten reklamiert werden, sind möglich.

2. Stand der Technik

Viele KMU haben Schwierigkeiten, moderne datengetriebene Konzepte zu integrieren, aufgrund von mangelnden Ressourcen und Möglichkeiten, wie gezeigt in (Hustad & Olsen, 2014), (Mittal et al., 2018, 2020). Zu diesem Schluss kommen auch (Teerasoponpong & Sopadang, 2022). In ihrer Arbeit untersuchen sie, wie KMU mithilfe von künstlichen neuronalen Netzen Beschaffungsentscheidungen unter Unsicherheit optimieren können. Mithilfe von Machine Learning konnten so Lieferantenauswahl, Bestellmengen und Lagerpolitik datengetrieben verbessert und Kosten signifikant reduziert werden. (Scott et al., 2015) schreiben, dass besonders dann Probleme zwischen beteiligten Parteien entstehen, wenn die Nachfrage größer ist als das Angebot. So entwickelten sie ein sehr frühes Framework, welches eine Vielzahl von Kriterien betrachtet und optimiert. Ein großes Potenzial von datengetriebenen Systemen in der Beschaffung zeigt auch die Arbeit von (Lo et al., 2026), Sie zeigen, dass mithilfe eines Systems eine Verhandlungsgrundlage geschaffen wurde, die dazu führte, dass eine Erhöhung der verfügbaren Kapazitäten um 45 % stattfand, wodurch das Unternehmen in die Lage versetzt wurde, Aufträge auf nur drei statt vier Lieferanten zu verteilen und damit die Komplexität des Lieferantenmanagements zu reduzieren. (Koohi Fayegh Dehkordi et al., 2025) schreiben in ihrem Beitrag, dass KMU sich bei der Entscheidungsfindung aufgrund begrenzter Ressourcen häufig auf Intuition und implizites Wissen stützen. Dies führt zu informellen, unsystematischen und unter hoher Unsicherheit mitunter irrationalen Entscheidungen. Mithilfe ihres Entscheidungsunterstützungssystems wird aufgezeigt, wie auch KMU durch kollaborativen Einkauf, etwa in Form von Partnerschaften oder Absprachen mit Lieferanten, Vorteile erzielen können. (Duan & Ventura, 2019) zeigen auf, wie datenbasierte Bestellzeitpunkte, etwa Abrufbestellungen, gegenüber starren Perioden wirtschaftliche Vorteile bieten. (Khan et al., 2024) zeigen, dass sie mit ihrer systematischen Auswertung von Retouren Wissen schaffen können, welches die Entscheidungsqualität im Einkauf von KMU verbessert.

Die genannten Arbeiten zeigen, dass datengetriebene Entscheidungsunterstützung einen erheblichen Einfluss auf KMU haben kann und es bewährte Methoden gibt, um Einkaufsentscheidungen zu optimieren. Die Literatur zeigt aber auch, dass sich KMU weiterhin schwertun, diese Methoden in ihre Prozesse zu integrieren; deswegen wurde in diesem Projekt mit realen Bestandsdaten eines KMU (Fecken-Kirfel GmbH & Co.

KG) gearbeitet und Mitarbeitende im Einkauf wurden befragt, welche Funktionen ihnen einen echten Mehrwert bieten. Zudem wurde in Gesprächen und durch ein iteratives Vorgehen erarbeitet, welches Wissen der Mitarbeitenden essenziell ist und wie dieses in Einklang mit einem digitalen Unterstützungssystem gebracht werden kann, um Synergien zwischen Mensch und System zu schaffen.

3. Implementierung

Die ursprüngliche Zielsetzung des Projekts bestand in der Entwicklung eines Werkzeugs zur datenbasierten Prognose zukünftiger Lieferzeiten, um Einkaufsentscheidungen zu unterstützen. Grundlage hierfür bildeten historische Lieferdaten, anhand derer analysiert werden konnte, wie lange einzelne Lieferanten an vergleichbaren Kalendertagen in der Vergangenheit für die Lieferung bestimmter Artikel benötigten. Es zeigte sich jedoch früh, dass diese Information isoliert, betrachtet nur einen begrenzten Mehrwert bot. Aus diesem Grund wurde eine Bewertungslogik eingeführt, die dem Einkauf eine Einschätzung darüber ermöglichte, wie belastbar eine jeweilige Prognose auf Basis der vorhandenen Datenlage ist. Diese Bewertungslogik wurde schrittweise erweitert und um lieferantenspezifische Kennzahlen ergänzt. Dazu zählten unter anderem die Liefertreue, die durchschnittlichen Lieferzeiten sowie die Preisentwicklung einzelner Artikel, jeweils im Vergleich zum Mittelwert aller Lieferanten. Zusätzlich wurde die Möglichkeit geschaffen, bestimmte Zeiträume gezielt in die Analyse ein- oder auszuschließen. (Chowdhury et al., 2021) zeigten z. B., dass die COVID-19-Pandemie große Auswirkungen auf Lieferketten aufwies. Auf diese Weise konnten außergewöhnliche Ereignisse wie die Pandemie aus den Prognosen ausgeklammert werden, um ihren verzerrenden Einfluss auf langfristige Auswertungen zu reduzieren. Durch die über mehrere Jahre aggregierten Daten war es möglich, saisonale Effekte sowie langfristige Trends darzustellen. Der Einkauf konnte dadurch abschätzen, in welchem Umfang das vom Lieferanten angegebene Lieferdatum voraussichtlich überschritten wird. Ergänzend dazu wurde eine Analyse der Preisentwicklung einzelner Artikel im Vergleich zu weiteren Artikeln derselben Artikelgruppe implementiert. Diese Artikelgruppen konnten durch den Einkauf flexibel definiert und angepasst werden, um gezielt relevante Produktvergleiche zu ermöglichen. Auf diese Weise wurde eine fundierte, datenbasierte Bewertung der Preisentwicklung einzelner Artikel sowie potenzieller Lieferantenwechsel unterstützt.

Das entwickelte Tool wurde dem Projektpartner, insbesondere dem Einkauf mit seinem ausgeprägten Domänenwissen, vorgestellt und gemeinsam diskutiert. In diesem Austausch wurde deutlich, dass ein höheres Interesse an statistischen Analysen, etwa zur Preisentwicklung oder zur Reklamationsquote einzelner Lieferanten, bestand als an einer rein prognostischen Vorhersage zukünftiger Lieferzeiten. Darüber hinaus wurden Unstimmigkeiten in den vorhandenen Daten thematisiert, wobei mehrere Inkonsistenzen geklärt und die Bedeutung einzelner Spalten vertieft werden konnte.

Auf Basis dieses Feedbacks wurde das Tool weiterentwickelt. Unter anderem wurden Funktionen ergänzt, mit denen sich Lieferanten mit besonders kurzen oder langen Lieferzeiten, Artikel mit überdurchschnittlichem Preisanstieg sowie Lieferanten mit hoher oder niedriger Reklamationsquote identifizieren lassen. Ergänzend wurde eine Analyse der meistgenutzten Artikel in gefertigten Produkten angefertigt. Diese erlaubt eine Betrachtung der Häufigkeit eines Artikels über alle Produkte, sowie eine Auskunft über die generelle Menge dieses Artikels über alle Produkte. Diese

erweiterten statistischen Auswertungen ermöglichen es dem Einkauf, fundierte Entscheidungen hinsichtlich der Auswahl und des Wechsels von Lieferanten sowie der erwarteten Verlässlichkeit nach einer Bestellung zu treffen. Erweiternd können Artikel identifiziert werden, die als Abrufartikel bei Lieferanten angelegt werden sollten, um mögliche Lieferengpässe zu umgehen und bei besonders wichtigen Artikeln die Lieferzeiten geringer zu halten.

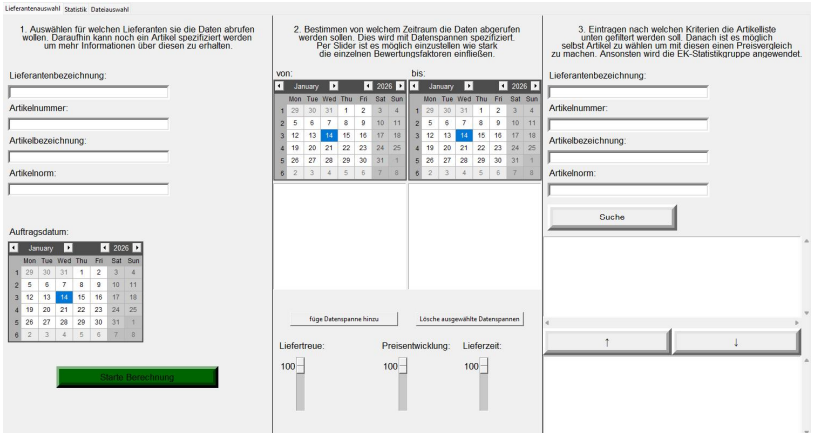


***Abbildung 1**: Ansicht des Tools mit Schritt für Schritt Anleitung für die Bedienung. Möglich sind in der linken Spalte die Auswahl für die Prognose und Artikelanalysen, die mittlere Spalte ermöglicht die Gewichtung der Bewertung und die Auswahl der Zeiträume. In der rechten Spalte ist das Angeben der zu vergleichenden Artikelgruppen vorgesehen.*

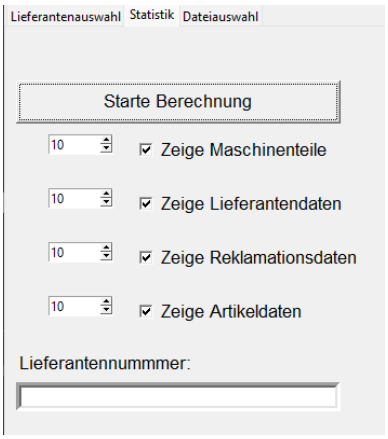


***Abbildung 2:** UI zur Berechnung der Statistik mit Einstellmöglichkeiten bezogen auf die Menge der Ausgaben, den zu betrachtenden Lieferanten, falls gewünscht, sowie die Auswahl, welche Statistiken berechnet werden.*

4. Evaluation

Innerhalb des Entwicklungsprozesses konnte durch Feedbackgespräche mit den Mitarbeitenden im Einkauf das Tool auf die Bedarfe und aktuellen Herausforderungen zugeschnitten werden. Trotz des hohen Erfahrungswissens der Mitarbeitenden war das Interesse an statistischen Auswertungen über die zuvor definierten Fragestellungen sehr hoch, da man hiermit das bereits vorhandene Bauchgefühl durch Fakten entweder verstärken oder widerlegen konnte.

Außerdem können nun durch das Tool strategische Einkaufsentscheidungen neben dem operativen Tagesgeschäft effizienter und gezielter getroffen werden. Besonders bei kleinen und mittleren Unternehmen, in denen ein strategischer Einkauf oft fehlt, können Mitarbeitende Trends und relevante Themen erkennen, im Team besprechen und bei Bedarf proaktiv agieren. Die schlanke Integration des Tools in den Arbeitsalltag unterstützt zudem eine bessere Arbeitsorganisation innerhalb der Abteilung.

5. Diskussion

Eine Herausforderung bei der Durchführung war jedoch das hohe Domänenwissen, welches gebraucht wird, um die Daten zu interpretieren, so z.B., wenn Tabellenspalten zweckentfremdet wurden oder es von Beginn an keine klaren Strukturen gab, wie Einträge getätigt werden sollen. Auch Zuordnungen sind hierbei oft schwer, wenn z.B. Lieferantennamen nicht konsistent waren, Adressen oder auch Währungen nicht in einheitlichen Formaten gespeichert werden. Ein Key-Takeaway dieses Projekts ist demnach, dass relationale Datenbanken weiterhin einen hohen Stellenwert haben, und beim Design der Datenbankstrukturen weiterhin ein großer Wert daraufgelegt werden sollte, Datenkonsistenz und Datenintegrität zu gewährleisten. Wir empfehlen deswegen jenem, der gerade anfängt, Daten zu sammeln, sich an Regeln der rationalen Datenbanken zu orientieren und mit einem Experten zusammen ein individuelles ER-Diagramm zu erstellen, welches gut zur Firmenstruktur passt.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Kleine und mittlere Unternehmen stehen vor Herausforderungen durch Lieferengpässe und Preissteigerungen, verfügen jedoch nicht über systematische Methoden zur datengestützten Unterstützung von Einkaufsentscheidungen. In dieser Arbeit wurde ein Analysetool vorgestellt zur Bewertung von Lieferanten anhand von Kennzahlen wie Liefertreue, Preisentwicklung und Reklamationsquoten. Die Literatur belegt das Potenzial solcher datengetriebener Systeme in der Beschaffung, zeigt jedoch, dass KMU bei der Integration oft trotzdem auf intuitive Entscheidungen zurückgreifen. In einem iterativen Prozess wurden historische Bestelldaten der Fecken-Kirfel GmbH & Co. KG analysiert und das Tool in enger Zusammenarbeit mit Einkaufsmitarbeitenden entwickelt. Das Tool ermöglicht fundierte Einkaufsentscheidungen durch Integration von Erfahrungswissen und statistischen Auswertungen, wobei konsistente Datenstrukturen als essenzielle Voraussetzung identifiziert wurden. In diesem Paper wurde gezeigt, dass durch die schlanke Integration des Tools strategische Einkaufsentscheidungen neben dem operativen Tagesgeschäft effizienter getroffen werden können. Die Evaluation belegt, dass Mitarbeitende ihr Erfahrungswissen durch datenbasierte Fakten validieren können, wobei konsistente Datenbankstrukturen die Grundlage für erfolgreiche Datenanalysen bilden.

7. Literatur

Chowdhury, P., Paul, S. K., Kaisar, S., & Moktadir, Md. A. (2021). COVID-19 pandemic related supply chain studies: A systematic review. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *148*, 102271. https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102271

Duan, L., & Ventura, J. A. (2019). A Dynamic Supplier Selection and Inventory Management Model for a Serial Supply Chain with a Novel Supplier Price Break Scheme and Flexible Time Periods. *European Journal of Operational Research*, *272*(3), 979–998. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.07.031

Hustad, E., & Olsen, D. H. (2014). ERP Implementation in an SME: A Failure Case. In J. Devos, H. Van Landeghem, & D. Deschoolmeester (Hrsg.), *Information Systems for Small and Medium-sized Enterprises* (S. 213–228). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-38244-4_11

Khan, S. A. R., Tahir, M. S., & Sheikh, A. A. (2024). Sustainable performance in SMEs using big data analytics for closed-loop supply chains and reverse omnichannel. *Heliyon*, *10*(16), e36237. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36237

Koohi Fayegh Dehkordi, Y., Khishtandar, S., & Abbasi, G. (2025). *Decision Support System for Collaborative Procurement in Small and Medium Enterprises*. SSRN. https://doi.org/10.2139/ssrn.5181877

Lo, H.-W., Chi, C.-Y., Pai, C.-J., & Deveci, M. (2026). A data-driven two-stage decision-making model for supplier selection and negotiation-based procurement planning. *International Journal of Production Research*, *64*(1), 39–62. https://doi.org/10.1080/00207543.2025.2539305

Mittal, S., Khan, M. A., Purohit, J. K., Menon, K., Romero, D., & Wuest, T. (2020). A smart manufacturing adoption framework for SMEs. *International Journal of Production Research*, *58*(5), 1555–1573. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1661540

Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of Manufacturing Systems*, *49*, 194–214. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005

Scott, J., Ho, W., Dey, P. K., & Talluri, S. (2015). A decision support system for supplier selection and order allocation in stochastic, multi-stakeholder and multi-criteria environments. *International Journal of Production Economics*, *166*, 226–237. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.008

Teerasoponpong, S., & Sopadang, A. (2022). Decision support system for adaptive sourcing and inventory management in small- and medium-sized enterprises. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, *73*, 102226. https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102226

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt den Mitarbeitenden im Einkauf der *Fecken-Kirfel GmbH & Co. KG*

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) im Programm „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ (Förder-kennzeichen 02L19C401) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Relevanz von multimethodischen Angeboten zur Weiterbildung von Prozessbegleiter*innen in digitalen und KI-gestützten Veränderungsprozessen: Beispiele aus dem AKzentE4.0-Projekt

Daniela DROST, Sarah HEINS, Paul FUCHS-FROHNHOFEN, Jona PANNENBECKERS

MA&T Sell & Partner GmbH
Karl-Carstens-Straße 1, D-52146 Würselen

Kurzfassung: Die Transformation von Industrie- und Handwerksunternehmen durch den digitalen Wandel erfordert neue Formen der Begleitung und Kompetenzentwicklung, insbesondere für prozessbegleitende Personen (PB). Diese Ergebnisse wurden auf Basis des im Forschungsprojekt AKzentE4.0 entwickelten Kompetenzmodells deutlich. Die zentrale Aufgabe der PB liegt darin, dass sie Veränderungsprozesse innerhalb des Unternehmens initiieren, moderieren und stabilisieren. Im AKzentE4.0-Projekt wird folgend ein multimethodischer Ansatz verfolgt und erarbeitet, der die Qualifizierung im Rahmen von blended-learning-orientierten Formaten zeitlich und räumlich flexibel und nachhaltig unterstützt. Die bislang vorliegenden Projektergebnisse werden dargestellt.

Schlüsselwörter: Prozessbegleitung, Qualifizierung, blended-learning, digitale Transformation, Künstliche Intelligenz

1. Theoretischer Rahmen und Einbettung in das Projekt

Der digitale Wandel ist im Handwerk und in der produzierenden Industrie längst zu einem festen Bestandteil des Arbeitsalltags geworden, dennoch stellt er Unternehmen vor die Herausforderung von tiefgreifenden Veränderungsprozessen durch die Integration von KI-Technologien (Pfeifer et al. 2022). Beispielsweise verändern sich bestehende Aufgabenstrukturen in Handwerks- und Industrieunternehmen sobald künstliche Intelligenz (KI) Routineaufgaben übernimmt, Prozesse optimiert, Fehler findet und Lösungen für Probleme anbietet. Durch die Vereinfachung ineffizienter und zeitintensiver Arbeitsprozesse können KI-Lösungen auf diesem Weg zur Wirtschaftlichkeit von Unternehmen beitragen (Mittelstand-Digital Zentrum Handwerk 2024). Maßgeschneiderte Lösungen können in Unternehmen entwickelt werden, um auf spezifische Herausforderungen in Industrie und Handwerk zu reagieren. Für eine erfolgreiche Integration von KI ist jedoch nicht nur das Wissen über die Anwender*innen und die Technologie selbst, sondern ebenfalls die sicher geplante Integration in den Betriebsablauf gefordert (Amato et al. 2024). Daher erfordert die Transformation neue Formen der Begleitung und Kompetenzentwicklung, insbesondere für die Akteure, die innerhalb der Organisationen die Veränderungsprozesse initiieren, begleiten und verstetigen, die PB (Drost et al. 2025).

Auf Basis des im Forschungsprojekt AKzentE4.0 entwickelten Kompetenzmodells (KM) wird deutlich, dass PB eine zentrale Rolle einnehmen, da sie als vermittelnde Instanz zwischen Technik und Entwickler*innen sowie Mitarbeitenden und Unternehmensstrategie fungieren. Das KM zeigt, dass von PB die meisten Fach-, Methoden-, Selbst-, und Sozialkompetenzen erwartet werden (Drost et al. 2025).

Die Relevanz der PB zeigt sich auf verschiedenen Wirkebenen. Primäre Wirkungen erzielen PB, wenn sie gezielt Wissen, methodische Ansätze und Handlungskompetenzen vermitteln und dadurch direkt zur Kompetenzentwicklung der beteiligten Akteure beitragen. Sekundäre Effekte zeigen sich auf einer indirekten Ebene, etwa in einer gesteigerten Akzeptanz, Beteiligungsbereitschaft und Motivation der Mitarbeitenden (Nett et al. 2018). In einem Workshop im September 2025 mit beteiligten Projektpartner*innen wurde die Relevanz eines entsprechenden Lern-, Informations- und Reflexionstools deutlich, um die PB fortlaufend in den für ihre Schlüsselrolle erforderlichen Kompetenzen zu fördern und somit primäre und sekundäre Effekte auf das Umfeld der PB sicherzustellen. Die Entwicklung eines Arbeitshefts (AH), das praxisorientierte und bewährte Leitfäden für vielfältige Situationen im Projektmanagement zusammenfasst und Reflexions- sowie Handlungshilfen bietet, wurde im Rahmen des Workshops angestoßen und für sinnvoll erachtet. Das AH stellt die analoge Komponente des blended-learning-orientierten Formats dar. Die digitale Komponente des blended-learning Formats ist eine webbasierte Lernplattform, die in Form von digitalen Lerneinheiten aktuelle Inhalte und Wissen zu Themen der KI bereitstellt.

2. Vorgehen und konzeptioneller Ansatz

Bei der Konzeption eines entsprechenden Lern- und Qualifikationsangebots wurde bestehende Literatur zur Information über die Vor- und Nachteile unterschiedlicher Lernformate und dessen Kombination herangezogen. Hager (2025) weist darauf hin, dass blended-learning-orientierte Formate einen Wissenstransfer in die berufliche Praxis begünstigen. Aus diesem Grund wurde der Fokus im Rahmen des Projekts auf Maßnahmen gerichtet, die ein praxisnahes blended-learning-orientiertes Konzept zur Qualifizierung von PB ermöglichen.

Wissenstransfer durch blended-learning-orientierte Formate wird durch die Verknüpfung von arbeitsbegleitendem Lernen mit praxisrelevanten Aufgabenstellungen und der sofortigen Anwendung der geförderten Kompetenzen erreicht. Die Einbindung von Transferaufgaben kann dabei Anreize setzen, die Lerninhalte tatsächlich anzuwenden. Außerdem wird beschrieben, dass Selbstlernmaterialien, insofern die zur Verfügung gestellten Inhalte eine hohe Auffindbarkeit aufweisen, als Wissenssammlung fungieren können, sodass die Nutzung im Arbeitsalltag sofortige Anwendung finden kann (Hager 2025). Nach Arnold (2025) können Lernprozesse in Unternehmen durch digitale Formate örtlich und zeitlich flexibilisiert werden und mit anderen Formaten integriert werden. Während digitale Lernformate vielfältigere Interaktionen erlauben, bringen analoge Formate andere Vorteile mit sich. Lerninhalte, die man sich handschriftlich notiert, können besser gemerkt werden (Van der Weel & Van der Meer 2024).

Nach Bender (2017) sollten bei der Entscheidung über das geeignete Lernformat und relevante Inhalte verschiedene Faktoren berücksichtigt werden: Personen, Lernziele und Rahmenbedingungen. Die Zielgruppe des konzipierten Vorgehens sind die PB, wobei das Ziel darin liegt, diese hinsichtlich ihrer Kompetenzen zu unterstützen. Aus dem beruflichen Kontext der Handwerks- und Industriebranche ergibt sich die Anforderung, dass die Lernmaterialien eine hohe Zugänglichkeit sowie eine ausgeprägte Praxis- und Anwendungsorientierung aufweisen müssen. Angesichts der Vielzahl heterogener Digitalisierungs- und KI-bezogener Prozesse ist eine breite inhaltliche Ausrichtung der Lernangebote erforderlich. Andererseits sollten

die Inhalte auf eine Art und Weise aufbereitet werden, die es den PB ermöglicht, die vermittelten Inhalte zielgerichtet auf ihr jeweils spezifisches Projekt zu übertragen und daraus einen konkreten Nutzen zu ziehen.

Abgeleitet aus den vorgestellten Überlegungen wurde sich für Konzept entschieden, das blended-learning-orientierte Maßnahmen verfolgt. Im Folgenden werden die Maßnahmen näher vorgestellt. Um die bestmögliche Passung der konzipierten Maßnahmen zur Anwendung im Arbeitsalltag durch die PB zu gewährleisten, werden analoge Inhalte für den praxisnahen Einsatz vor Ort mit zeit- und ortsunabhängigen digitalen Inhalten kombiniert. Durch das Konzept werden die Kompetenzen zur Gestaltung digitaler und KI-gestützter Prozesse gezielt gefördert.

3. Ergebnisse und Diskussion

In den folgenden Unterkapiteln werden die beiden Komponenten des entwickelten Konzepts, das AH und die digitalen Lerneinheiten über die Open-Source-Lernplattform ILIAS vorgestellt. Zusammengefasst unterstützen das AH und die digitalen Lerneinheiten die erfolgreiche Einführung digitaler und KI-gestützter Prozesse und Technologien, indem es den PB eine ständige Möglichkeit zur Weiterentwicklung und Reflexion bietet.

3.1 Arbeitsheft

Das AH wurde entwickelt, um PB eine praxisnahe Unterstützung in den unterschiedlichen Phasen des Projektmanagements zu bieten, vom Start über die Durchführung bis hin zum Abschluss eines Projekts. Der inhaltliche Fokus liegt dabei auf Projekten, die auf die Einführung sowie die nachhaltige Implementierung digitaler und KI-gestützter Technologien und Prozesse in Organisationen ausgerichtet sind.

Die Inhalte sind so konzipiert, dass sie das Nachdenken, Reflektieren und Strukturieren der eigenen Arbeit anregen. Dazu enthält das AH unterschiedliche Leitfragen, Arbeitsblätter und Vorlagen, die die PB flexibel an Ihre jeweilige Projektsituation anpassen und handschriftlich ausfüllen können. Das AH versteht sich als universelles praxisorientiertes Instrument, das darauf abzielt, komplexe Vorhaben systematisch zu planen und Projektfortschritte transparent zu machen. Dabei begleitet es zum einen bei methodischen Fragestellungen, und gibt zum anderen auch Impulse für den inhaltlichen Austausch im Team und mit Projektpartner*innen. In das AH sind viele im Projektmanagement bekannte und bewährte Methoden eingeflossen, Tabelle 1 stellt eine Übersicht der Kapitel dar.

3.2 Digitale Lerneinheiten

Im Rahmen des systematischen digitalen Qualifizierungskonzepts des Projekts AKzentE4.0 wurde die Open-Source-Lernplattform ILIAS projektspezifisch adaptiert und implementiert. Ziel der frei zugänglichen Lernplattform ist es, ort- und zeitunabhängiges Lernen für verschiedene Zielgruppen zu ermöglichen. Nutzende erhalten Zugang zu digitalen Lerneinheiten, die Wissen zu Digitalisierung, Künstlicher Intelligenz sowie technologiegestützter Arbeitsgestaltung vermitteln.

Die Lerninhalte sind thematisch in verschiedene Kurse gegliedert, wodurch eine klare Struktur geschaffen wird, die zugleich eine flexible und selbstbestimmte Nutzung

ermöglicht. Die Kursthemen erstrecken sich von theoretischen Grundlagen bis hin zur praktischen Anwendung.

Tabelle 1: *Inhalte des Arbeitshefts (AH) als ein Teil des blended-learning-orientierten Tools.*

Beginn von Projekten	**Durchführung von Projekten**	**Ende von Projekten**
Ausgangsanalysen Zielplanung Projektplanung Teamaufbau Zeitplanung Reflexionsfragen	Problemlösen KI & Digitalisierung Teammanagement Achtsamkeit & Resilienz Selbst- & Zeitmanagement Kommunikation Moderation Projektsteckbrief	Projekt Dokumentation Evaluation & Nachhaltigkeit Reflexionsfragen

Zu den zentralen Lerninhalten gehören beispielsweise ein im Projektverbund entwickeltes Kompendium, das grundlegende Begrifflichkeiten rund um Digitalisierung und KI verständlich definiert und beschreibt. Des Weiteren werden Best-Practice-Beispiele von Partnerunternehmen des AKzentE4.0-Projekts vorgestellt, um den Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in betriebliche Anwendungskontexte zu fördern. Mithilfe eines Train-the-Trainer Methodenlehrgangs für betriebliche Akteure, wie den PB, können die Vorbereitung, Durchführung und Evaluation von Schulungsmaßnahmen unterstützt werden.

Seit November 2025 steht die Lernplattform unter https://akzente40.iliasnet.de/ auch der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung. Die Registrierung ist niedrigschwellig, kostenfrei und ermöglicht den selbstständigen Beitritt zu den angebotenen Kursen. Dadurch wird eine Verbreitung sowie nachhaltige Verstetigung der Projektergebnisse unterstützt.

3.3 Diskussion

Während die Idee eines blended-learning-Konzepts in einem Workshop mit Projektpartner*innen bereits positiv eingeordnet wurde, sollte perspektivisch auch die tatsächliche Nützlichkeit des AH in der Praxis erprobt werden. Daher wird das entworfene AH ab Januar 2026 an die Projektpartner*innen ausgegeben mit dem Ziel, Rückmeldungen zur tatsächlichen Anwendung in der Praxis zu sammeln. Das Arbeitsheft soll über einen gegebenen Zeitraum regelmäßig verwendet werden. Damit soll evaluiert werden, ob die Projektpartner*innen das AH tatsächlich als ein effektives und inhaltsreiches Format wahrnehmen, welches sie in ihrer Kompetenzentwicklung unterstützt.

Das erhaltene Feedback wird bis März 2026 gesammelt und soll dann in Folge dessen in eine überarbeitete Fassung des AH integriert werden, um die Akzeptanz, Qualität und Effektivität der gesamten Maßnahmen weiter zu verbessern.

4. Fazit und Ausblick

Die Einführung von KI und Digitalisierungsprozessen in Industrie- und Handwerksunternehmen führt zu tiefgreifenden Veränderungen, die eine strukturierte und zielgerichtet Begleitung erfordern. Eine zentrale Voraussetzung für das Gelingen

dieser Transformationsprozesse ist die Sicherstellung einer ausreichenden sowie kontinuierlichen Qualifikation und Kompetenzentwicklung der prozessbegleitenden Person. Vor diesem Hintergrund erweisen sich multimethodische Ansätze, in Form von digitalen Learning Tools und Begleitung durch haptische Vorlagen und Unterstützungsinstrumente, als besonders geeignet.

Die erarbeiteten Ergebnisse werden zu Projektende überwiegend über die im Rahmen des Vorhabens aufgebaute Lernplattform „AKzentE4.0-ILIAS“ einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Die Lerninhalte und -angebote dienen damit als Leitfäden sowie als Qualifikations- und Orientierungshilfe für relevante Akteure und bieten somit einen Mehrwert über die Projektlaufzeit hinaus. Das Vorhaben wurde im Rahmen des Forschungsprojektes AKzentE4.0 umgesetzt, das durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ (Förderkennzeichen: 02L19C400) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut wird.

5. Literatur

Amato P, Hoffmann A, Collar A (2024) Künstliche Intelligenz: Anwendungen und Chancen für das Handwerk. Berlin: Mittelstand-Digital Zentrum Handwer (Hrsg).

Arnold T (2025) Modellentwicklung als methodischer Zugang zur interdisziplinären Forschung in Zeiten der Digitalen Transformation. MedienPädagogik Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, 67:1-24. https://doi.org/10.21240/mpaed/67/2025.11.20.x

Bender I (2017) Mediendidaktik. Potenziale, Szenarien und Formate der digitalisierten Lehre. In: Team Wissenschaftliche Weiterbildung Universität Rostock (Hrsg.), Weiterbildungsmanagement professionalisieren, Universität Rostock, 66-87.

Drost D, Scheen S, Hintzen L, Fuchs-Frohnhofen P (2025) Kompetenzmodell für die Einführung, Verbreitung und Anwendung von digitalen und KI-gestützten Prozessen und Technologien. GfA, Sankt Augustin (Hrsg.).

Hager A (2025) Blended Learning in der beruflichen Weiterbildung: Potenziale und Herausforderungen im Fokus einer Mixed-Methods-Studie. bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online, 48:1-24. https://www.bwpat.de/ausgabe48/hager_bwpat48.pdf

Mittelstand-Digital Zentrum Handwerk. (2024). KI: Werkzeug fürs Handwerk! Wie das Handwerk von Künstlicher Intelligenz profitiert. Zentralverband des Deutschen Handwerks e. V (ZDH) (Hrsg).

Nett B, Bönsch J, Fuchs-Frohnhofen P. (2018) Digitalisierung und ihr Einfluss auf Arbeit und Qualifizierung in kleinen metallbearbeitenden Unternehmen Nordrhein-Westfalens. FGW-Studie Digitalisierung von Arbeit 08; Düsseldorf: Forschungsinstitut für gesellschaftliche Weiterentwicklung e.V. (FGW). https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-67297-4

Pfeifer Y, Weber MA, Jeske T, Stowasser S (2022) Künstliche Intelligenz als Einflussfaktor auf die Qualifizierung in der Mensch-Roboter Kollaboration. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten. Sankt Augustin: GfA-Press.

Van der Weel FR, Van der Meer ALH (2024) Handwriting but not typewriting leads to widespread brain connectivity: a high-density EEG study with implications for the classroom. Frontiers in Psychology. 14:1219945. doi: 10.3389/fpsyg.2023.1219945

Intuitive Mensch-Roboter-Interaktion: Entwicklung und Evaluation eines gestenbasierten User Interfaces für die Objektauswahl

Bijan KAVOUSIAN, Oliver PETROVIC, Werner HERFS

Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen
Steinbachstraße 25, D-52072 Aachen

Kurzfassung: Gesten sind eine natürliche Form der Kommunikation zwischen Menschen und sollen auch für die Mensch-Roboter-Interaktion nutzbar gemacht werden. Die Arbeit präsentiert ein gestenbasiertes User Interface zur Objektauswahl durch Fingerzeigen und Klickgesten. Ein Experiment mit 20 Teilnehmenden untersucht Genauigkeit und Auswahlzeit und zeigt das Potenzial für eine effiziente Zusammenarbeit.

Schlüsselwörter: Computer Vision, Gestensteuerung, Intuitive Interaktion, Mensch-Roboter-Kollaboration, Robotik

1. Einleitung

In der industriellen Automatisierung wird der Einsatz von Robotern immer relevanter. Zur vereinfachten Einrichtung rückt dabei anstelle klassischer Programmiermethoden zunehmend die No-Code-Programmierung in den Fokus. Dafür ist eine effektive Kommunikation zwischen Mensch und Roboter unerlässlich. Neben sprachlichen Interaktionsformen spielen Gesten auch in der Mensch-Roboter-Interaktion eine zentrale Rolle und werden intensiv erforscht (Wang et al. 2022). Besonders das Zeigen mit dem Finger dient zwischen Menschen der eindeutigen Identifikation von Objekten, was im industriellen Kontext vorteilhaft ist, da Objekte oft keine intuitiven Namen haben oder mehrfach vorkommen.

Diese Form der intuitiven Kommunikation soll daher auf die Interaktion zwischen Mensch und Roboter übertragen werden. Die vorliegende Arbeit trägt hierzu bei, indem sie (1) ein kalibrierungsfreies, echtzeitfähiges System zur Objektauswahl entwickelt, (2) moderne Verfahren zur Segmentierung und Handposen-Erkennung in einer durchgängigen Pipeline kombiniert und (3) in einem Versuch mit 20 Personen den Einfluss der Zeigelinie sowie der visuellen Rückmeldung untersucht.

2. Stand der Technik

Vorangegangene Arbeiten untersuchen bereits Zeigegesten zur Objektauswahl in der Mensch-Roboter-Interaktion. Quintero et al. (2013) implementieren ein System zur visuellen Erkennung von Zeigegesten, das auf der Schätzung einer Zeigerichtung durch Linien zwischen Hand und Kopf bzw. Ellbogen basiert. In einer späteren Arbeit zeigen Quintero et al. (2015), dass solche Zeigegesten sowohl zur Kommunikation vom Menschen zum Roboter als auch als robotergeneriertes Feedback genutzt werden können. Die Erfolgsquoten der Objektauswahl liegen jedoch lediglich zwischen 51 % und 69 % (Quintero et al. 2013), und ohne moderne Objekterkennung blieb die Abgrenzung einzelner Objekte ungenau.

Weitere Ansätze setzen Zeigegesten in spezifischen Assistenzkontexten ein. Jevtic et al. (2019) verwenden Zeigegesten zur Unterstützung beim Anziehen von Schuhen. Hierfür müssen jedoch feste Schuhpositionen definiert und sowohl die Gesten als auch die Szene kalibriert werden, sodass die Flexibilität stark eingeschränkt ist. Ähnlich verwenden Moh et al. (2019) gestenbasierte Interaktion in einem Haushaltskontext, jedoch wieder ohne allgemeine Objekterkennung für beliebige Szenen.
Aktuelle Übersichtsarbeiten zeigen, dass Gesten weiterhin ein zentrales Forschungsfeld der HRI bilden, insbesondere für natürliche Interaktion und intuitive Objektreferenzierung (Wang et al. 2022). Moderne Systeme wie Ekrekli et al. (2023) kombinieren Gesten und Sprache für multimodale Interaktion. Die Objektauswahl erfolgt dort jedoch nicht über echtes Fingerzeigen, sondern über die Wahl des zum Handgelenk nächstgelegenen Objekts. Das entspricht nicht der natürlichen menschlichen Interpretation eines Zeigens, wodurch es besonders bei weiter entfernten Objekten zu Fehlzuordnungen kommen kann.

Insgesamt zeigen diese Arbeiten, dass Zeigegesten grundsätzlich als Interaktionsmittel genutzt werden können, jedoch bisher meist ohne allgemeine, instanzbasierte Objekterkennung, echte Fingerzeiginterpretation und Integration in ein durchgängiges Echtzeitsystem. Eine flexible Objektauswahl in variablen Szenen mit nur einer RGB-D-Kamera wird damit bislang nicht adressiert.

3. Technologisches Konzept und Umsetzung

Um das System umzusetzen, werden Handtracking und Objekterkennung mit einer Nutzeroberfläche zu einem Gesamtsystem zusammengesetzt. Damit können die Nutzenden Objekte mit Zeigegesten auswählen. Das System verwendet dabei RGB-D-Daten aus einer Kamera von Intel des Typs Realsense D435i. Nachdem bei der Objekterkennung die Objekte segmentiert und mithilfe der Tiefeninformationen die räumlichen Mittelpunkte bestimmt wurden, wird beim Handtracking eine Zeigelinie durch die Hand (siehe Abb. 2) gelegt und das nächste Objekt zur Zeigelinie vorausgewählt. Sobald mit der anderen Hand eine Auswahlgeste durchgeführt wird, wird das Objekt ausgewählt. Abbildung 1 gibt einen Überblick über das Gesamtsystem.

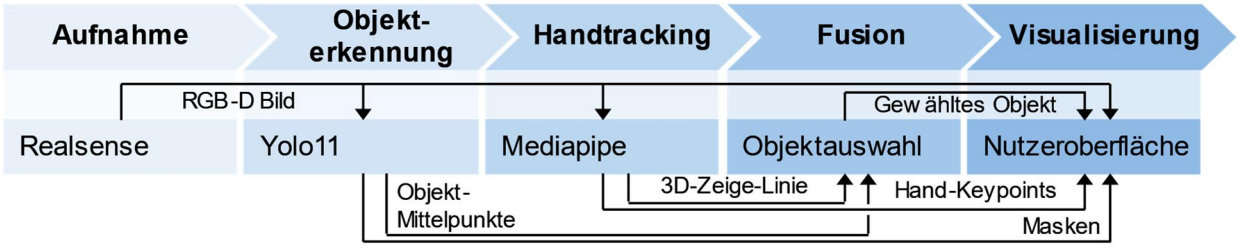


Abbildung 1: *Überblick über das Gesamtsystem.*

1.1 Objekterkennung

Ausgehend vom Kamerabild werden zunächst die Objekte im zweidimensionalen Bild segmentiert. Dafür wurden verschiedene Segmentierungsalgorithmen getestet. SAM2 (Ravi et al. 2024) ist ein Foundation Model zur Segmentierung allgemeiner Bilder, ist allerdings für die Echtzeitanwendung nicht schnell genug. MobileSam (Zhang et al. 2023) ist schneller, die Genauigkeit reicht jedoch nicht für die Anwendung aus. Daher wird das vortrainierte YOLOv11seg (Khanam und Hussain 2024) verwendet,

das eine Vielzahl von Objekten ohne zusätzliches Training segmentieren kann. Nach der Segmentierung wird für jedes Objekt mithilfe der Tiefendaten ein Raummittelpunkt bestimmt, der für die Objektauswahl verwendet wird.

1.2 Handtracking

Für das Handtracking wird die Implementierung aus Googles Mediapipe-Framework (Lugaresi et al. 2019) verwendet, das ein vortrainiertes, echtzeitfähiges Modell zur Erkennung von Hand-Keypoints bereitstellt. Die Keypoints sind in Abbildung 2 dargestellt (reales Bild: Abbildung 3) und werden für zwei Zwecke verwendet: Die Punkte einer Hand werden genutzt, um eine Zeigelinie zu konstruieren. Mit den Punkten der anderen Hand wird die Auswahlgeste erkannt.

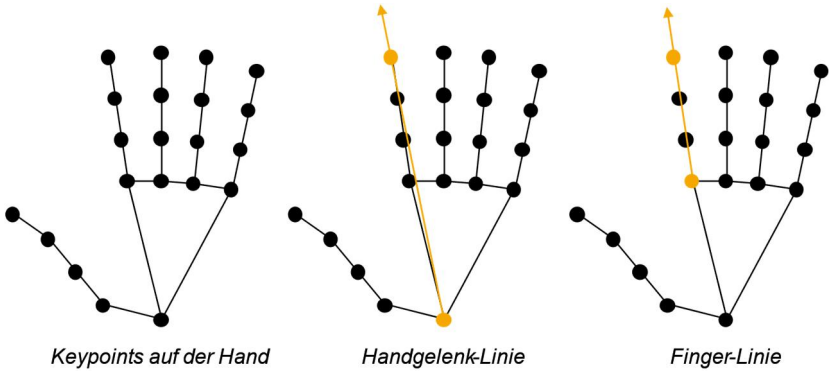


Abbildung 2: *Erkannte Keypoints auf der Hand sowie getestete Zeige-Linien.*

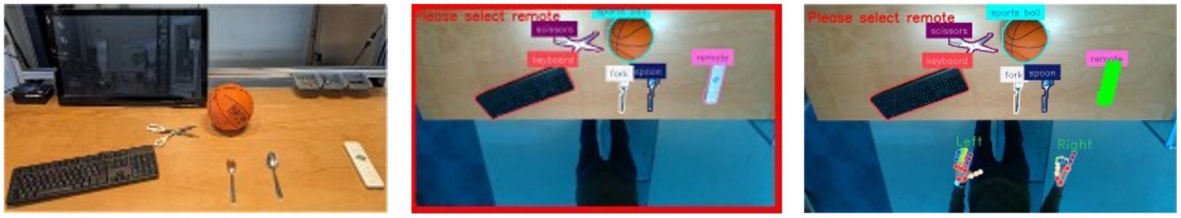
Für die Zeigelinien wurden zwei verschiedene Linien getestet: Die Linie zwischen dem ersten Gelenk und der Spitze des Zeigefingers („Finger-Linie“) entspricht dem Zeigeverständnis des Menschen, während die Linie vom Handgelenk zur Fingerspitze des Zeigefingers („Handgelenk-Linie“) ähnlich verläuft, aber durch die weiter auseinanderliegenden Stützpunkte stabilere Ergebnisse erwarten lässt. Beide Varianten werden später in den Versuchen verglichen. Die zweidimensionale Linie wird mithilfe der Tiefeninformationen zu einer dreidimensionalen Linie im Raum ergänzt (vgl. Quintero et al. 2013).

Um die Objektauswahl durchzuführen, wird eine Klickgeste eingeführt. Diese Klickgeste ist bei VR-Systemen wie der Apple Vision Pro etabliert (Apple 2025) und intuitiv anwendbar. Hierzu wird mithilfe der Keypoints der zweiten Hand der Abstand zwischen Daumen- und Zeigefingerspitze ermittelt. Sobald er unter einen Schwellwert fällt, wird das Objekt ausgewählt.

4. Versuchsaufbau und Durchführung

Zur Bewertung der Methode wurden Experimente mit 20 Teilnehmenden durchgeführt, die das System vor den Versuchen nicht kannten. Dabei wurde insbesondere untersucht, welche Zeigelinie die bessere Auswahlgenauigkeit ermöglicht und welchen Einfluss die visuelle Benutzeroberfläche hat. Alle Teilnehmenden stimmten der Teilnahme zu und konnten das Experiment jederzeit ohne Konsequenzen abbrechen.
Der Versuchsaufbau ist in Abbildung dargestellt. Auf einem Tisch wurden sechs Objekte platziert, hinter denen sich ein Bildschirm mit der Benutzeroberfläche befindet.

Dort werden das Kamerabild, die Segmentierungsmasken der Objekte sowie die erkannten Handpunkte angezeigt. Sobald ein Objekt ausgewählt werden kann, wird es in der Darstellung grün hervorgehoben.



Versuchsaufbau *Nutzeroberfläche A* *Nutzeroberfläche B*

Abbildung 3: *Versuchsaufbau und Nutzeroberfläche. A: Die Objekte werden segmentiert, ein roter Rahmen zeigt an, dass die Hände sich nicht im Bild befinden. B: Die Hände werden erkannt und Keypoints eingezeichnet; das vorausgewählte Objekt wird hervorgehoben.*

Die Versuchspersonen erhalten auf dem Bildschirm die Anweisung, ein spezifisches Objekt auszuwählen. Dadurch ist ihre Absicht bekannt und kann mit der Systemausgabe verglichen werden. Das auszuwählende Objekt wird auf dem Bildschirm angezeigt (und nicht etwa vorgelesen), um die Vergleichbarkeit zu erhöhen und keine zusätzliche zeitliche Unsicherheit einzuführen. Pro Versuchsdurchlauf wird jedes Objekt zweimal in zufälliger Reihenfolge ausgewählt.

Um die Zeigelinien zu vergleichen sowie den Nutzen der visuellen Oberfläche nachzuweisen, wird ein 2×2-faktorieller Versuchsplan mit Messwiederholung verwendet. Dabei führt jede Versuchsperson vier ausgewertete Varianten des Versuchs durch: Mit bzw. ohne visuelle Nutzeroberfläche und mit Finger-Linie und Handgelenk-Linie. Die Versuche finden in einer zufälligen Reihenfolge statt. Zusätzlich führen die Versuchspersonen vor den ausgewerteten Versuchen einen Übungsversuch mit visuellem Feedback durch, um den Einfluss von Lerneffekten auf die Auswertung zu verringern. Nach allen Versuchen füllen die Versuchspersonen einen Fragebogen mit Fragen auf einer Likert-Skala sowie einem Feld für freie Kommentare aus.

5. Ergebnisse

Die Auswertung basiert auf den pro Versuchsperson ermittelten Auswahlgenauigkeiten in den vier experimentellen Bedingungen. Tabelle 1 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Kombinationen aus Zeigelinie (Finger vs. Handgelenk) und visueller Rückmeldung (an vs. aus).

Tabelle 1: *Mittelwerte und Standardabweichungen für die verschiedenen Versuche.*

Zeige-Linie	Visualisierung	Mittelwert	Standardabweichung
Finger	An	93,3 %	7,3 %
Handgelenk	An	91,5 %	8,9 %
Finger	Aus	90,8 %	8,1 %
Handgelenk	Aus	82,1 %	17,6 %

Für die Analyse wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung durchgeführt. Die Faktoren waren Zeigelinie (Finger vs. Handgelenk) und visuelle Rückmeldung (an vs. aus). Die ANOVA zeigt einen signifikanten Haupteffekt der visuellen

Rückmeldung auf die Auswahlgenauigkeit ($p = 0.037$). Mit visueller Rückmeldung wurden Objekte zuverlässiger ausgewählt. Der Haupteffekt der Zeigelinie ist nicht signifikant ($p = 0.076$), liegt jedoch nahe am Signifikanzniveau und deutet auf einen möglichen Einfluss bei größerer Stichprobe hin. Die Interaktion zwischen beiden Faktoren ist nicht signifikant ($p = 0.162$).

Für die Auswahlzeit ergab die ANOVA keine signifikanten Effekte. Die mittlere Auswahlzeit lag in allen Bedingungen im Bereich von etwa drei bis vier Sekunden. Dieser Wert umfasst sowohl das Lesen und Verstehen der Anweisung als auch die anschließende Reaktion und die eigentliche Auswahl mit dem System.

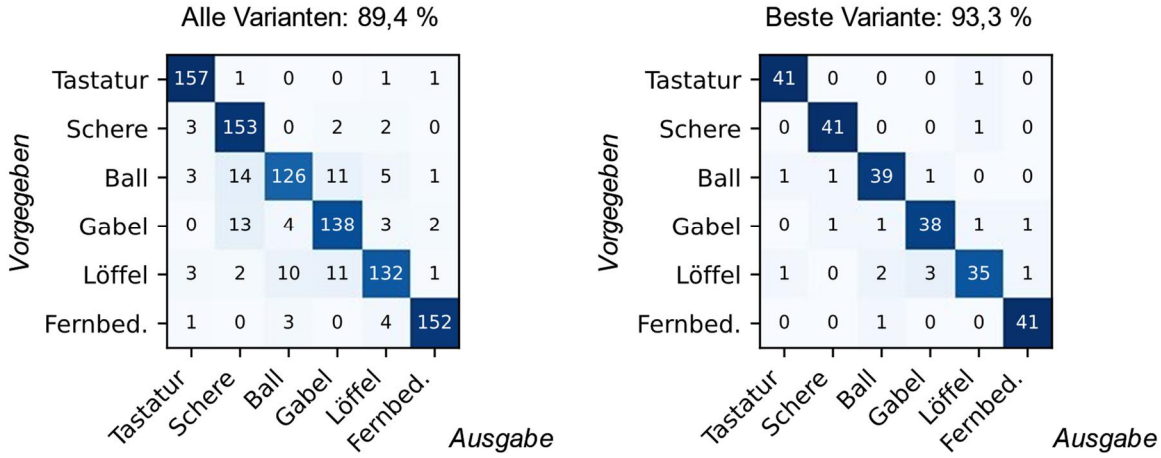


Abbildung 4: *Confusion Matrix: Über alle Varianten hinweg sowie für die am besten funktionierende Variante mit visueller Oberfläche und Finger-Linie.*

In Abbildung 4 ist zunächst eine Confusion Matrix über alle Versuche hinweg abgebildet. Die gesamte Genauigkeit ist in diesem Fall 89,4 %. Es fällt auf, dass nah aneinanderliegende Objekte häufiger verwechselt werden als weiter voneinander entfernte Objekte. In der besten Variante mit angeschalteter Visualisierung und Finger-Linie kommt es proportional zu weniger Fehlern, die Genauigkeit liegt bei 93,3 %.

Die Befragung liefert zusätzliche subjektive Einschätzungen der Teilnehmenden. Der Auswahlprozess wurde überwiegend als nachvollziehbar beschrieben, und sowohl Zeigegeste als auch Klickgeste wurden meist als verständlich bis sehr verständlich eingestuft. Die visuelle Rückmeldung wurde häufig als hilfreich wahrgenommen, während einige Teilnehmende gleichzeitig angaben, dass sich die Interaktion ohne Rückmeldung natürlicher anfühle. Aufgrund der kleinen Stichprobe sind die Angaben als qualitative Ergänzung zu den objektiven Ergebnissen zu verstehen.

6. Fazit und Ausblick

Die Arbeit untersucht ein gestenbasiertes User Interface zur Objektauswahl in der Mensch-Roboter-Interaktion und zeigt, dass das entwickelte System Objekte zuverlässig identifizieren und auswählen kann. Die visuelle Rückmeldung erwies sich dabei als zentraler Faktor für eine hohe Auswahlgenauigkeit, während die Finger-Linie leichte Vorteile gegenüber der Zeigelinie über das Handgelenk zeigte. Die subjektiven Einschätzungen der Teilnehmenden bestätigen grundsätzlich die Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit des Interaktionskonzepts. Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse, dass einfache Zeige- und Klickgesten eine robuste und zugängliche Form der

Interaktion bieten können und sich gut für eine intuitive Auswahl im gemeinsamen Arbeitsraum eignen. Gerade bei nah aneinander liegenden Objekten bietet dieser Ansatz im Vergleich zu anderen wie z. B. von Ekrekli et al. Vorteile für die eindeutige Identifikation von Objekten. Zukünftig kann das System durch leistungsfähigere Segmentierungs- und Erkennungsverfahren weiter verbessert und in ein Robotersystem eingebunden werden, sodass die gestenbasierte Auswahl nahtlos in konkrete robotische Handlungen übergeht.

7. Literatur

Apple (Hg.) (2025): Gesten mit der Apple Vision Pro verwenden. Online verfügbar unter https://support.apple.com/de-de/117741.

Ekrekli, Akif; Angleraud, Alexandre; Sharma, Gaurang; Pieters, Roel (2023): Co-Speech Gestures for Human-Robot Collaboration. In: 2023 Seventh IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC). 2023 Seventh IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC). Laguna Hills, CA, USA, 11.12.2023 - 13.12.2023: IEEE, S. 110–114.

Jevtic, Aleksandar; Flores Valle, Andres; Alenya, Guillem; Chance, Greg; Caleb-Solly, Praminda; Dogramadzi, Sanja; Torras, Carme (2019): Personalized Robot Assistant for Support in Dressing. In: *IEEE Trans. Cogn. Dev. Syst.* 11 (3), S. 363–374. DOI: 10.1109/TCDS.2018.2817283.

Khanam, Rahima; Hussain, Muhammad (2024): YOLOv11: An Overview of the Key Architectural Enhancements. Online verfügbar unter https://arxiv.org/pdf/2410.17725v1.

Lugaresi, Camillo; Tang, Jiuqiang; Nash, Hadon; McClanahan, Chris; Uboweja, Esha; Hays, Michael et al. (2019): MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines. Online verfügbar unter https://arxiv.org/pdf/1906.08172v1.

Moh, Jun Jie; Kijima, Takafumi; Zhang, Bin; Lim, Hun-ok (2019): Gesture Recognition and Effective Interaction Based Dining Table Cleaning Robot. In: 2019 7th International Conference on Robot Intelligence Technology and Applications (RiTA). Daejeon, Korea (South): IEEE, S. 72–77.

Quintero, Camilo Perez; Fomena, Romeo Tatsambon; Shademan, Azad; Wolleb, Nina; Dick, Travis; Jagersand, Martin (2013): SEPO: Selecting by pointing as an intuitive human-robot command interface. In: 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Karlsruhe, Germany: IEEE, S. 1166–1171.

Quintero, Camilo Perez; Tatsambon, Romeo; Gridseth, Mona; Jagersand, Martin (2015): Visual pointing gestures for bi-directional human robot interaction in a pick-and-place task. In: 2015 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN). Kobe, Japan, 31.08.2015 - 04.09.2015: IEEE, S. 349–354.

Ravi, Nikhila; Gabeur, Valentin; Hu, Yuan-Ting; Hu, Ronghang; Ryali, Chaitanya; Ma, Tengyu et al. (2024): SAM 2: Segment Anything in Images and Videos. Online verfügbar unter https://arxiv.org/pdf/2408.00714v2.

Wang, Xihao; Shen, Hao; Yu, Hui; Guo, Jielong; Wei, Xian (2022): Hand and Arm Gesture-based Human-Robot Interaction: A Review. In: Proceedings of the 6th International Conference on Algorithms, Computing and Systems. New York, NY, USA: ACM, S. 1–7.

Zhang, Chaoning; Han, Dongshen; Qiao, Yu; Kim, Jung Uk; Bae, Sung-Ho; Lee, Seungkyu; Hong, Choong Seon (2023): Faster Segment Anything: Towards Lightweight SAM for Mobile Applications. Online verfügbar unter https://arxiv.org/pdf/2306.14289v2.

Förderhinweis: Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „AKzentE 4.0“ wird durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) im Programm „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut (Förderkennzeichen: 02L19C400). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Evaluation eines mobilen Arbeitsplatzkonzeptes für teilautomatisierte Fahrzeuge mittels physischem und VR-Prototyp

Selina LAYER[1], Nine REINING[2], Linn BRAUNMILLER[1], Imke WEISER[2], Reto ROSENSTIEL[3], Frank BEUTENMÜLLER[2]

[1] Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement, Universität Stuttgart Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart
[2] TWT GmbH Science & Innovation, Industriestr. 6, D-70565 Stuttgart
[3] Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart

Kurzfassung: Automatisiertes Fahren ermöglicht neue Tätigkeiten im Fahrzeug, z.B. das Arbeiten. Dieser Beitrag bietet Einblick in die Gestaltung und Evaluation (*n*=62) eines Arbeitsplatzkonzepts für teilautomatisierte Fahrzeuge in einem physischen sowie einem virtuellen Prototyp (VR). Bewertet wurden Arbeitsqualität, mentaler Workload, Nutzungsbereitschaft und User Experience (UX). Teilnehmende erzielten mittlere bis gute Arbeitsqualität bei mittlerem bis geringem Workload und zeigten eine hohe Nutzungsbereitschaft. Die UX wurde für beide Prototypen gut bis sehr gut bewertet. Als wichtige Aspekte für Arbeitsplätze in (teil-)automatisierten Fahrzeugen zeigten sich u.a. die Nutzbarkeit bekannter Software und die Implementierung von für Fahrzeuge entwickelten Eingabetechnologien.

Schlüsselwörter: Automatisiertes Fahren, Mobiles Arbeitsplatzkonzept, Menschzentrierte Gestaltung, Anforderungen, Nutzendenevaluation

1. Einleitung

Mit fortschreitender Automatisierung der Fahrzeuge im Straßenverkehr wird es möglich, während der Fahrt anderen Tätigkeiten nachzugehen. Der Entwicklungsstand der Fahrautomatisierung kann entsprechend der Norm SAE J3016 „Levels for Driving Automation“ definiert werden (SAE International 2025). Bereits im Jahr 2025 waren SAE-Level-3-Systeme für den eingeschränkten automatisierten Betrieb bis zu einer Geschwindigkeit von 95 km/h auf deutschen Autobahnen zugelassen (Mercedes Benz Group AG 2025). Bis die vollständige Fahrautomatisierung (SAE-Level 5) möglich wird, wird Expert:innen zufolge noch viel Zeit vergehen (S&P Global Mobility 2023). Bis dahin muss die steuernde Person bei Bedarf Fahrtätigkeiten ausführen (SAE-Level 3-4), was die Gestaltung des Fahrzeuginterieurs für nicht-fahrrelevante Aktivitäten wie Bürotätigkeiten stark limitiert. Für viele pendelnde Berufstätige könnte ein mobiler Arbeitsplatz ein Mehrwert im (teil-)automatisierten Fahrzeug sein (vgl. Beutenmüller et al. 2025b). Aspekte wie bspw. Motion Sickness können jedoch die kognitive Leistung reduzieren und das Arbeiten im Fahrzeug erschweren. Zudem zeigt sich bei Befragten in Anbetracht ihrer bisherigen Vorstellung eines automatisierten Fahrzeuges eine eingeschränkte Akzeptanz während der automatisierten Fahrt nicht-fahrrelevante Tätigkeiten auszuführen (u.a. Nordoff et al. 2020; Wilson et al. 2022). Um die Integration eines kompromisslos verwendbaren Mobilarbeitsplatzes in ein (teil-)automatisiertes Fahrzeug weiter zu erforschen, wurde ein entsprechendes Cockpit-Konzept entwickelt, welches in Form eines physischen und eines virtuellen

Prototypen (VR) realisiert und anschließend mit Proband:innen (*n*=62) evaluiert wurde. Untersucht wurden Arbeitsqualität, mentaler Workload, Nutzungsbereitschaft im Alltag und User Experience (UX), wobei beide Prototypen miteinander verglichen wurden.

2. Menschzentrierte, iterative Prototypenentwicklung

Zur Entwicklung des mobilen Arbeitsplatzes für teilautomatisierte Fahrzeuge wurde der menschzentrierte Gestaltungsprozess entsprechend der DIN EN ISO 9241-210 (DIN Media GmbH 2020) angewandt. Zur Spezifikation des Nutzungskontext wurden Aufgabenmodelle, Personas und potenzielle Use Cases aufbereitet. Diese dienten als Basis der Definition von Erfordernissen und Nutzungs-/Systemanforderungen. In einem Online-Fragebogen (*n*=32) wurden die Use Cases und Personas mit Fragen zu Beruf/Tätigkeit und dem berufsbezogenen Fahrverhalten validiert und angepasst. Außerdem wurden anhand des KANO-Modells (Sauerwein 2000) zuvor definierte Anforderungen geprüft, überarbeitet, priorisiert und in einem Anforderungskatalog aufbereitet.

Die Arbeit von Beutenmüller et al. (2025a) beschreibt die finalisierten Use Cases und die Umsetzung des Konzepts in Form eines physischen sowie eines virtuellen Prototyps (siehe Abbildung 1). Das Fahrzeug wird mithilfe eines Joysticks gesteuert, sodass mehr Arbeitsfläche zur Verfügung steht. Die Spezifikationen des Joysticks sowie eine zugehörige Vorstudie wurden von Layer at al. (2025) genauer beschrieben. Arbeitsinhalte werden mittels Projektoren auf eine variabel opake oder klar geschaltete Scheibe projiziert und mithilfe der Software *Virtual Desktop One* (*VD1*) (Bues et al. 2018) dargestellt. Zur Informationseingabe stehen eine Tastatur und ein Trackpad zur Verfügung. Die Fahrsimulation wie auch der digitale Prototyp in der VR-Umgebung wurden mit der Software *Tronis* realisiert. Das User Interface der Arbeitsumgebung wurde mit *VD1* in die Simulationsumgebung eingebunden. Der VR-Prototyp wurde mit der *Apple Vision Pro (M2)* dargeboten. Beide Prototypen wurden mit potenziellen Nutzenden evaluiert (siehe 3.).

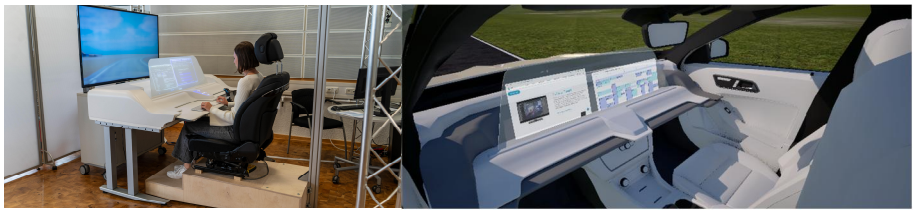


***Abbildung 1**: Links: Physischer Prototyp; Rechts: Virtueller Prototyp (VR).*

3. Summative Evaluation

Die zwei Prototypen wurden separat in nahezu identischen Labor-Studien evaluiert. Im physischen Demonstrator (PD) nahmen *n*=30 Personen (Alter: *M*=38.10 Jahre; 18 weiblich, 12 männlich) teil, in VR nahmen *n*=32 Personen (Alter: *M*=32.25 Jahre; 15 weiblich, 16 männlich) teil. Alle Teilnehmenden (TN) waren zum Zeitpunkt der Studie berufstätig und im Besitz eines PKW-Führerscheins.

3.1 Methode

Studiendesign. Beide Teilstudien wurden in einem Within-subject-design durchgeführt. Die unabhängige Variable Arbeitsumgebung gliedert sich in zwei Messbedingungen: Baseline am Laptop und simulierte teilautomatisierte Fahrt im Prototyp (physisch/virtuell). Zur Bewertung der Arbeitsbedingungen, wurden abhängige Variablen (AVn) für beide Arbeitsumgebungen erhoben (AVn 1-2). Zur Erlebnisbewertung der TN wurden zudem weitere AVn erhoben, die nur in Bezug auf die Prototypen erfasst wurden (AVn 3-4):

- AV1: Arbeitsqualität (objektiv): Bearbeitungszeit und Fehleranzahl
- AV2: Mentaler Workload (subjektiv): *NASA TLX* (Hart & Staveland 1988)
- AV3: User Experience (subjektiv): *meCUE* (Minge et al. 2013)
- AV4: Nutzungsbereitschaft (subjektiv): eigens kreierter Fragebogen

Zudem wurden in Interviews ein Gesamtfeedback und Verbesserungsvorschläge erhoben. Abbildung 2 zeigt die Variablen eingebettet in den Studienablauf.

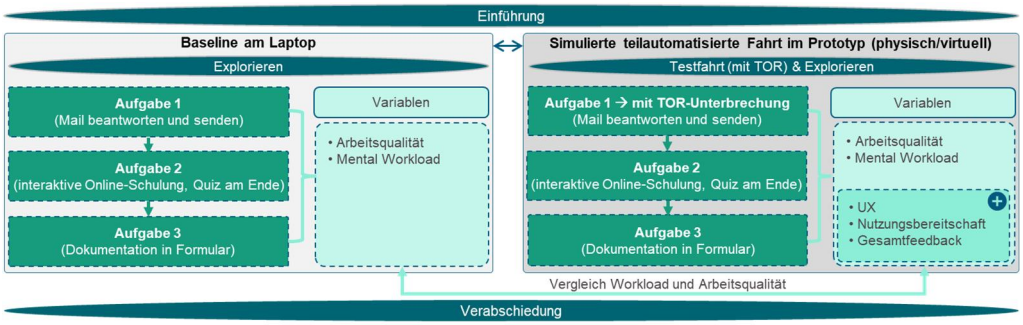


Abbildung 2: *Studiendesign und -ablauf.*

Studienablauf. Beide Teilstudien folgten demselben Ablauf (Abbildung 2). Zunächst erfolgten Aufklärung und Einwilligung der TN. Soziodemografische Daten wurden vorab in einem Online-Fragebogen erhoben. Die TN bearbeiteten je Messbedingung (Baseline vs. Prototyp) drei zu den Use Cases passende Aufgaben. Die Abfolge der zwei Bedingungen wurde permutiert, um den Einfluss von Lerneffekten auszuschließen. Jede Bedingung begann mit einer Systemexploration, gefolgt von der Aufgabenbearbeitung. Im Prototyp wurden die Aufgaben zunächst während einer automatisierten Fahrt bearbeitet. Die Bearbeitung von Aufgabe 1 wurde durch einen Take-Over-Request (TOR) unterbrochen, welcher eine manuelle Steuerung durch die TN erforderte. Nach ca. 1 min übernahm das System die Steuerung wieder und die Aufgabenbearbeitung wurde fortgesetzt. Nach jeder Messbedingung füllten die TN den *NASA TLX*-Fragebogen aus. Abschließend wurden die Fragebögen zu den AVn 3-4 ausgefüllt und das Interview durchgeführt.

Studienaufbau. In Aufgabe 1 vervollständigten die TN eine E-Mail mithilfe von Informationen auf einem Notizfeld. In Aufgabe 2 wurden Informationen aus einer Präsentation erlernt und sortiert, wobei ein per Videocall zugeschalteter Kollege mit den TN interagierte. Ein Quiz zu den Inhalten diente zur Ermittlung der Arbeitsqualität. In Aufgabe 3 befüllten die TN ein Formular, wobei die benötigten Informationen per E-Mail bereitgestellt wurden. Zur Informationseingabe wurden im PD Trackpad und Tastatur sowie die Diktierfunktion von *Microsoft Office* verwendet. In VR wurden aufgrund der erhöhten Schwierigkeit einer blinden Nutzung physischer Eingabegeräte, Alternativen zur Verfügung gestellt (Maus statt Trackpad, virtuelle Tastatur, Sprachassistenz durch Studienleitung). Der Joystick zur manuellen

Fahrzeugsteuerung wurde beiden Prototypen als physisches Objekt beigefügt. Der Büroarbeitsplatz für die Baseline-Messung am Laptop war im selben Raum an einem anderen Ort stationiert.

Statistische Auswertung. Zur Auswertung der Arbeitsqualität (AV 1) wurden die Punktabzüge abhängig der Schwere spezifischer Fehler (Inhalt fehlt/ falsch/ falsche Stelle: -1; Zusätzlicher Inhalt: -0,5; Rechtschreibung/Formatierung: -0,1) definiert. Anschließend wurde je Proband:in ein Prozentwert für die Angabe der relativen Arbeitsqualität (AQ_r), basierend auf der erreichten Punktzahl und der benötigten Zeit errechnet. Hierfür wurde nachfolgende Formel genutzt:

$$AQ_r = 0{,}5 \times \left(100 - \frac{t - t_{min}}{t_{max} - t_{min}} \times 100\right) + 0{,}5 \times \left(\frac{P}{P_{max}} \times 100\right),$$

wobei t=Bearbeitungszeit, P=erreichte Punktezahl. Der Zusatz $_{max}$ bezieht sich auf das globale Maximum einer Aufgabe über beide Messbedingungen und Prototypen hinweg. Für die Zeit wurden die maximalen und minimalen Werte auf Basis der Höchst- und Bestzeit der TN definiert. Die erzielten Einzelwerte für AQ_r wurden über die jeweiligen TN der Teilstudien hinweg gemittelt sowie Standardabweichungen errechnet. Inferenzstatistische Berechnungen erfolgten mit *IBM SPSS Statistics* (Version 30.0.0.0; 172). Da eine Normalverteilung meist nicht gegeben war, wurden Wilcoxon-W-Tests zum Vergleich der Messbedingungen Baseline und Fahrsimulation für die AVn 1-2 je Aufgabe, zunächst unabhängig für beide Prototypen, anschließend im Vergleich der Prototypen, berechnet. Zum Ausgleich einer möglichen alpha-Fehler-Kumulierung wurde eine Bonferroni-Korrektur auf die Ergebnisse angewandt. Interviewdaten wurden in einer Inhaltsanalyse kategorisiert und die Auftretenshäufigkeit der Kategorien gezählt.

3.2 Ergebnisse

Nutzungsbereitschaft. Die TN beider Teilstudien zeigten eine sehr hohe Bereitschaft beim teilautomatisierten Fahren zu arbeiten. Mind. 81% der TN konnten sich dies eher oder vollkommen vorstellen. Besonders hoch ist die Breitschaft einfache Tätigkeiten auszuführen, z. B. Telefonieren, Arbeitsinhalte anschauen/lesen, Dokumentationstätigkeiten (>70%). Für >50% der TN ist es vorstellbar, im Fahrzeug mit anderen zu kollaborieren.

User Experience. Beide Prototypen erzielten auf einer Skala von -5.00 bis 5.00 ein eher hohes Gesamturteil hinsichtlich der User Experience (M_{PD}=2.48, SD_{PD}=1.69; M_{VR}=2.33, SD_{VR}=2.05). Nützlichkeit und Benutzbarkeit wurden im Mittel für beide Prototypen eher hoch bewertet (Werte zwischen 5.00 und 6.00 auf Skala 1 bis 7). Die Nutzungsintention wurde für beide Prototypen in einem mittleren Wertespektrum mit Mittelwerten zwischen M_{PD}=4.40 und M_{VR}=4.70 bewertet. Die visuelle Ästhetik wurde insbesondere für den PD eher hoch bewertet (M_{PD}=5.52, SD_{PD}=1.06; M_{VR}=4.43, SD_{VR}=1.25). Produktloyalität und Bindung hingegen wurden für beide Prototypen im Mittel ≤3.65 und damit eher niedrig bewertet.

Mentaler Workload. Im PD bewerteten die TN ihren Workload auf allen Subskalen für die Baseline und den Prototyp in einem mittleren bis eher niedrigen Bereich. Die Leistung wurde eher gut bewertet. Es finden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Messbedingungen (siehe Tabelle 1). In VR lag die mentale Beanspruchung in einem mittleren Wertebereich ähnlich dem PD, ebenso die Leistung, die damit schlechtere Werte in VR erzielte als im PD. Abgesehen von der körperlichen Anforderung unterscheiden sich die Bewertungen zwischen VR und

Baseline – mit eher geringerer Beanspruchung und besserer Leistung in der Baseline – jedoch für alle Variablen des *NASA TLX* signifikant.

Arbeitsqualität. Die Arbeitsqualität im PD zeigte sich mit Mittelwerten >60 % in einem eher guten Bereich für beide Messbedingungen mit einem signifikanten Unterschied zur etwas besseren Arbeitsqualität in der Baseline in Aufgabe 1. In VR unterschieden sich die Messbedingungen in den Aufgaben 1 und 2 signifikant voneinander, mit niedriger Arbeitsqualität in VR (~50 %) als in der Baseline (70<AQ>80%). In Aufgabe 3 erzielten die TN in beiden Messbedingungen ähnliche Werte 60<AQ>70% (exakte Werte siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: *Mittelwerte und Standardabweichungen für die AVn 1-2 für Baseline und Prototyp für beide Teilstudien (PD und VR). Signifikante Unterschiede zwischen Baseline und Prototyp (Signifikanzniveau nach Bonferroni-Korrektur p ≤ .004) sind mit * markiert.*

Messbedingungen	Baseline	Prototyp PD	Baseline	Prototyp VR
Abhängige Variable	**Arbeitsqualität (in Prozent)**			
Aufgabe 1	74.51 ± 14.83 *	67.04 ± 13.29	79.36 ± 15,88 *	49.61 ± 21.10
Aufgabe 2	61.59 ± 19.09	66.06 ± 20.11	72.05 ± 15.34 *	54.90 ± 10.80
Aufgabe 3	70.29 ± 12.74	66.36 ± 14.86	61.84 ± 13,98	67.32 ± 16.87
	Mentaler Workload (Skala: 0 gering – 20 hoch, außer Leistung)			
Frustration	5.83 ± 5.57	8.37 ± 5.30	3.20 ± 3.40 *	9.41 ± 4.69
Anstrengung	8.17 ± 5.81	9.60 ± 5.89	5.27 ± 4.11 *	9.03 ± 4.31
Zeitliche Anforderung	10.10 ± 5.17	8.73 ± 5.19	6.60 ± 5.19 *	7.83 ± 4.21
Körperliche Anforderung	4.43 ± 4.38	6.00 ± 5.27	2.43 ± 2.94	4.59 ± 3.57
Geistige Anforderung	6.93 ± 4.82	7.67 ± 5.31	4.50 ± 4.02 *	7.48 ± 4.09
Leistung (0 gut – 20 schlecht)	5.53 ± 5.10	5.43 ± 5.01	4.90 ± 4.87 *	9.24 ± 4.95

3.3 Diskussion und Ausblick

Die vorgestellte Arbeit versteht sich als Impuls für die Entwicklung von Arbeitsplatzkonzepten für das teilautomatisierte Fahren. Abgeleitete Erkenntnisse sind jedoch – auch aufgrund der eingeschränkten Stichprobengröße – nicht als absolut für die Entwicklung solcher Konzepte zu betrachten. Zudem zeigt die Arbeit einen Vergleich zweier Methoden auf und regt eine kritische Auseinandersetzung zur Eignung virtueller gegenüber physischer Laborumgebungen an.

Die vorgestellte Evaluation erbrachte eine gute Bewertung des entwickelten Arbeitsplatzkonzeptes. TN können sich vorstellen, ein solches System in ihren Arbeitsalltag zu integrieren. Die erhobenen Interviewdaten zeigen Defizite in den prototypischen Umsetzungen, besonders bzgl. der Eingabemöglichkeiten, während die großen Ausgabeflächen sowie die Kompatibilität mit gängiger Software als positiv hervorgehoben werden. Der mentale Workload liegt in einem akzeptablen, mittleren Bereich. Die Arbeitsqualität erreicht zufriedenstellende bis gute Ergebnisse. Bedeutsame Unterschiede in Qualität und Workload zur Baseline am Laptop zeigen sich primär in VR. Dies deutet auf ein gutes Grundkonzept mit einer herausfordernden Methodik hin. Folglich sollte die Methode VR unter Einsatz der verwendeten Technologien in Kombination mit einer Fahrsimulation zukünftig nur für Aufgaben geringer Komplexität eingesetzt werden. In weiteren Iterationen des menschzentrierten Gestaltungsprozesses sollte zur Immersionserhöhung und gleichzeitigen Betrachtung von Motion Sickness in einem physischen Prototyp auf eine Erprobung im Realfahrzeug oder bewegte Fahrsimulation gesetzt werden. Zudem

zeigt sich die Entwicklung explizit für das Fahren geeigneter Eingabetechnologien (z .B. Sprachassistenz) als unumgänglich, um kompromissloses Arbeiten beim automatisierten Fahren zu realisieren.

4. Literatur

Beutenmüller F, Reining N, Rosenstiel R, Schmidt M, Layer S, Bues M, Mendonca D (2025a) Conception and Experience of Non-Driving Related Activities in Semi-Autonomous Vehicles. SAE Technical Paper 2025-01-0260.

Beutenmüller F, Vartziotis L, Reining N, Klumpp M, Bachmann M, Ohlhausen P (2025b) A State-of-the-Art “Mobile Office in Automated Vehicles”. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaften (Hrsg.) Arbeit 5.0: Menschzentrierte Innovationen für die Zukunft der Arbeit. Sankt Augustin: GfA Press.

Bues M, Wingert B, Riedel O (2018) VD1: a technical approach to a hybrid 2D and 3D desktop environment. In: 2018 IEEE 11th Workshop on Software Engineering and Architectures for Real-time Interactive Systems (SEARIS). Reutlingen: IEEE, 1-7.

DIN Media GmbH (2020) DIN EN ISO 9241-210 Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 210: Menschzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2019); Deutsche Fassung EN ISO 9241-210:2019. Berlin: DIN Media GmbH.

Hart SG, Staveland LE (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: Advances in Psychology, Volume 52. North-Holland: 139-183.

Layer S, Bubeck T, Bopp-Bertenbreiter V, Pathak L, Widlroither H (2025) Evaluation unterschiedlicher Joystick-Konzepte zur Steuerung teilautomatisierter Fahrzeuge. In: Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2025. Stuttgart: Fraunhofer IAO.

Mercedes Benz Group AG (2025) Hochautomatisiert bis 95 km/h auf der Autobahn. Accessed May 14, 2025. https://group.mercedes-benz.com/innovationen/produktinnovation/autonomes-fahren/drive-pilot-95-kmh.html.

Minge M, Riedel L, Thüring M (2013) Modulare Evaluation von Technik. Entwicklung und Validierung des meCUE Fragebogens zur Messung der User Experience. In: Grundlagen und Anwendungen der Mensch-Technik-Interaktion. 10. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin, 28-36.

Nordhoff S, Louw T, Innamaa S, Lehtonen E, Beuster A, Torrao G, Bjorvatn A, Kessel T, Malin F, Happee R, Merat N (2020) Using the UTAUT2 model to explain public acceptance of conditionally automated (L3) cars: A questionnaire study among 9,118 car drivers from eight European countries. In: Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, Volume 74, 280-297.

SAE International (2021) Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems: J3016_202104 2021. SAE International.

Sauerwein E (2000) Das Kano-Modell der Kundenzufriedenheit. In: Das Kano-Modell der Kundenzufriedenheit. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.

S&P Global Mobility (2023) Waiting for Autonomy. Accessed January 5, 2026. https://www.spglobal.com/automotive-insights/en/blogs/2023/10/fuel-for-thought-waiting-for-autonomy.

Wilson C, Gyi D, Morris A, Bateman R, Tanaka C (2022) Non-Driving Related tasks and journey types for future autonomous vehicle owners. In: Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, Volume 85, 150-160.

Danksagung: Die Umsetzung dieser Arbeit erfolgte im Rahmen des Forschungsprojekts *MoHAFe – Mobiles hybrides Arbeiten im automatisierten Fahrzeug* (2023-2025), gefördert durch das Baden-Württembergische Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus.

Kompetenz und Konfidenz menschlicher Kontrolle von Hochrisiko-KI-Systemen in der Personalauswahl: Selbsteinschätzung von Anwendern

Jan GRENZEBACH, Silvio ARMBRÜSTER, Thea RADÜNTZ

Fachgruppe 2.4 KI in der Arbeitswelt
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund

Kurzfassung: Entscheidungssysteme auf Basis künstlicher Intelligenz verändern zunehmend die Personalarbeit. In der Personalauswahl übernehmen Assistenzsysteme Aufgaben der Vorauswahl von Bewerbern anhand von Unterlagen. Mit dem Einsatz von KI-Systemen stellt sich nun die Frage, ob algorithmische Entscheidungen den Ansprüchen von Personalabteilungen genügen. Solche Systeme versprechen Objektivität, sind aber anfällig für Verzerrungen, die aus Trainingsdaten entstehen können. Diesem Problem begegnet die EU im Rahmen der KI-Verordnung durch die Einstufung als Hochrisikosysteme und der Verhängung strenger Auflagen. Dadurch rücken KI-Kompetenz und Konfidenz der menschlichen Kontrollinstanzen in den Mittelpunkt. Der human-in-the-loop soll algorithmische Entscheidungen prüfen, korrigieren und verantworten. Die Kompetenz der Anwender ist dabei ein Faktor, um Risiken zu minimieren. Der Beitrag stellt einen Fragebogen vor, der die Kompetenz und Konfidenz von Anwendern in der Personalauswahl via Selbsteinschätzung erfasst. Aufbauend auf etablierten Modellen werden die Dimensionen Wissen, Anwendungserfahrung, kritische Bewertung und ethisches Verständnis berücksichtigt. Erhoben wird, in welchem Umfang Mitarbeiter Funktionen von KI-Systemen verstehen, deren Ergebnisse interpretieren und mögliche Verzerrungen erkennen können. Ziel ist es, Kompetenz- und Konfidenzprofile zu identifizieren, die als Grundlage für Qualifizierung und Bewertung organisatorischer Risiken beim Einsatz von KI dienen.

Schlüsselwörter: Personalauswahl, Entscheidungsunterstützung, Bias, Human-in-the-Loop, Kompetenz, Konfidenz, Fragebogen

1. Einleitung

Die Personalarbeit befindet sich seit Jahren in einem tiefgreifenden Wandel, der durch den breiten Einsatz digitaler Technologien und insbesondere Künstlicher Intelligenz (KI) geprägt ist (Peters 2020). Digitale Verfahren unterstützen längst nicht mehr nur administrative Aufgaben, sondern übernehmen auch zentrale Schritte der Personalauswahl. Assistenzsysteme sortieren Bewerbungsunterlagen vor, analysieren Textpassagen und erstellen automatisierte Eignungsprognosen. Dieser Trend ist eingebettet in eine umfassende Automatisierung administrativer Prozesse, die bereits früh als besonders dynamisch beschrieben wurde (Peters 2020). Parallel dazu nutzen Bewerbende generative Sprachmodelle, um Anschreiben oder Lebensläufe zu optimieren, während Arbeitgeber zunehmend populäre, nicht speziell für Eignungsdiagnostik entwickelte Sprachmodelle einsetzen.

Die damit verbundenen Entscheidungen dürfen daher nicht als objektiv vorausgesetzt werden. Sowohl empirische Studien als auch rechtliche und ethische Analysen zeigen, dass algorithmische Verfahren anfällig für Verzerrungen sind, die aus ungeeigneten Daten, Modellierungen oder aufgrund von strukturellen Vorannahmen entstehen können (Orwat 2017; Spiecker & Towfigh 2023). Solche als „Bias“ bezeichnete Verzerrungen können unerwünschte Diskriminierungen erzeugen, Erwerbs- und Lebensbiographien beeinflussen und daher arbeitswissenschaftliche Anliegen berühren. Der Deutsche Ethikrat weist beispielsweise auf die Gefahr hin, dass algorithmische Systeme menschliche Mitwirkungsmöglichkeiten einschränken und damit Verantwortungszuschreibungen, etwa bei Personalentscheidungen, erschweren können (Deutscher Ethikrat 2023). Damit rückt die Frage in den Mittelpunkt, welche Kompetenzen Beschäftigte in der Personalauswahl benötigen, um algorithmische Ergebnisse einordnen und Fehleinschätzungen der Maschine erkennen zu können. Die Qualität einer Personalentscheidung kann, wie viele Managemententscheidungen, in vielen Fällen erst mittel- oder langfristig beurteilt werden.

Die bisherigen Auswahlverfahren, die sich traditionell stark auf die Papierlage stützen, werden seit Langem kritisch diskutiert. Ihre prognostische Validität ist begrenzt und abhängig von der fachlichen Qualifikation der Anwender, sowie der Qualität der weiteren Verfahren (Palmer & Kersting 2017). Mit dem Einsatz algorithmischer Systeme verschärft sich diese Problematik: Der Mensch soll Entscheidungen der Maschine prüfen, ohne die gesamte Auswahl selbst erneut vornehmen zu müssen. Hier können psychische Belastungen entstehen, da Unsicherheiten über die Funktionsweise von KI-Systemen und fehlende Transparenz zu Fehlurteilen oder übermäßigem Vertrauen führen können (Fleck et al. 2022).

Für eine rechtskonforme Gestaltung von KI-Systemen in der Personalauswahl ist daher die Kompetenz der Anwender zentral. Dies betrifft sowohl Wissen über Funktionsprinzipien als auch die Fähigkeit, Ergebnisse kritisch zu reflektieren und notwendige Korrekturen vorzunehmen. Verschiedene Studien betonen, dass solche Kompetenzen für die Prävention von Diskriminierung und zur Einhaltung regulatorischer Vorgaben unverzichtbar sind, insbesondere da Menschen die letzte oberste Instanz verantwortlicher Kontrolle bleiben sollen (Carstensen & Ganz 2023; BMAS 2023).

Ziel des Beitrags ist es, ein Instrument zur Selbsteinschätzung der Kompetenz und der Konfidenz von Anwendern vorzustellen, die KI-basierte Hochrisikosysteme in der Personalauswahl kontrollieren. Kompetenz erfasst die fachlichen Fertigkeiten. Die Konfidenz reflektiert die Sicherheit bei der Anwendung dieser Fertigkeiten in einer bestimmten Situation. Das Instrument adressiert damit die Frage, in welchem Maß Beschäftigte algorithmische Entscheidungen hinterfragen können und wie sicher sie sich in ihren Bewertungen fühlen. Damit soll ein Beitrag geleistet werden, um Qualifizierungsbedarfe für Anwender zu identifizieren.

2. Anwendungsbereich

Mit der europäischen KI-Verordnung werden Systeme zur Analyse und Bewertung von Bewerbenden als Hochrisiko-KI eingestuft. Der regulatorische Rahmen verpflichtet Organisationen zur Gewährleistung angemessener menschlicher Aufsicht, zur Dokumentation zentraler Systemparameter und zur Sicherstellung der Nachvollziehbarkeit algorithmischer Entscheidungen (EU 2024). Für die Gestaltung

von Arbeitssystemen bedeutet dies, dass Kontrollaufgaben für KI-Entscheidungen klar definiert, Verantwortlichkeiten zugewiesen und Fehlerfolgen systematisch berücksichtigt werden müssen.

Aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive ergeben sich bei der Nutzung algorithmischer Personalauswahl spezifische Risiken. Verzerrungen in Trainingsdaten und Modellen können zu systematischen Benachteiligungen bestimmter Bewerbergruppen führen, wie empirische Befunde zu Bias in automatisierten Auswahlprozessen zeigen (Fleck et al. 2022; Orwat 2017). Auch menschenrechtliche Analysen weisen darauf hin, dass fehlende Transparenz und eingeschränkte Erklärbarkeit algorithmischer Systeme die Bewertung von Fairnesskriterien erschweren (Deutsches Institut für Menschenrechte 2021). Diese Aspekte betreffen grundlegende Anforderungen an sichere und diskriminierungsfreie Arbeitsprozesse.

Für Entscheiderinnen und Entscheider entstehen zusätzliche Belastungen. Die Verantwortung für die Kontrolle algorithmischer Ergebnisse führt zu Unsicherheiten, wenn Modelle nicht vollständig verstanden werden oder deren Grenzen unklar bleiben. Diskursive Analysen verweisen darauf, dass die Verantwortungsteilung zwischen Anwender und KI neue Spannungsfelder erzeugt, die sowohl Entscheidungsqualität als auch die Rolle der beteiligten Akteure verändern können (Carstensen & Ganz 2023).

Vor diesem Hintergrund gewinnt die Kompetenz der Anwender zentrale Bedeutung. Kenntnisse über Funktionsweisen, mögliche Grenzen und typische Fehlerquellen von KI-Systemen sowie die Fähigkeit zur kritischen Interpretation ihrer Ergebnisse gelten als zentrale Voraussetzungen für eine sichere Anwendung im Betrieb (BMAS 2023). Damit wird Kompetenzentwicklung zu einem integralen Bestandteil arbeitswissenschaftlicher Gestaltungskonzepte für den Einsatz von KI und Voraussetzung für Hochrisiko-KI.

3. Modellierung von Kompetenz und Konfidenz im Bereich KI-Anwender

3.1 KI-Kompetenz

Für den sicheren Einsatz von Hochrisiko-KI-Systemen in der Personalauswahl ist ein präzises Verständnis der erforderlichen Kompetenzen wichtig. „AI Literacy“ beschreibt grundlegende Fähigkeiten zur Einordnung und kritischen Bewertung von KI-Systemen und umfasst Wissen über Funktionsweisen, Interpretationsfähigkeit und Reflexionsvermögen (Long & Magerko 2020). Wienrich et al. (2022) erweitern diesen Ansatz um ein arbeitswissenschaftliches Kompetenzmodell, das zusätzlich Anwendungserfahrung und ethisches Verständnis berücksichtigt.

Im Unterschied zu Literacy wird KI-Kompetenz als handlungsorientiertes Konstrukt verstanden, das die Fähigkeit einschließt, KI-Ergebnisse angemessen in Entscheidungen einzubinden und Risiken zu erkennen. Dies entspricht den Anforderungen der EU-KI-Verordnung, die nachvollziehbare und überprüfbare algorithmische Entscheidungen sowie wirksame menschliche Aufsicht verlangt (EU 2024, vgl. human oversight). Für die Personalauswahl von Bedeutung ist, dass Anwender sowohl Validität als auch mögliche Verzerrungen KI-basierter Vorschläge beurteilen können müssen.

3.2 Konfidenz in der menschlichen Kontrolle

Neben Wissen und Fähigkeiten spielt Konfidenz eine wesentliche Rolle für die Qualität menschlicher Aufsicht. Forschungsergebnisse zeigen, dass eine Vorannahme des Anwenders, d.h. eine zu große oder zu niedrige Konfidenz in die Ergebnisse der KI, die Wirksamkeit menschlicher Kontrolle deutlich beeinträchtigt. Zu große Konfidenz kann dazu führen, dass algorithmische Ergebnisse zu stark durch den Nutzer übernommen werden, während zu niedrige Konfidenz das Potenzial der KI-Unterstützung mindert (Chong et al. 2022). Der Eine Studie zur vertrauenskalibrierten Entscheidung unterstreicht, dass Erklärungen zur Sicherheit der KI-Modelle nur dann zu besseren Entscheidungen führen, wenn die Grenzen der Systeme durch die Anwender verstanden werden können (Zhang et al. 2020). Kompetenz und Konfidenz müssen nicht gleichförmig verlaufen. Eine niedrige Kompetenz kann mit einer hohen Konfidenz einhergehen und umgekehrt. Wünschenswert ist eine Kombination aus hoher Kompetenz (tatsächliche Fähigkeit, das System korrekt und effizient zu bedienen) und kalibrierter Konfidenz (Selbstsicherheit, die zur eigenen Kompetenz und zur jeweiligen Aufgaben-/Risikolage passt). Für Anwender komplexer Systeme ist nicht maximale Konfidenz das Ziel, sondern realistische, gut begründete Konfidenz.

Die Eignungsdiagnostik stellt seit Langem Instrumente bereit, um Verzerrungen menschlicher Urteile zu reduzieren, etwa strukturierte Verfahren und explizite Kriterienbildung (Palmer & Kersting 2017). Diese Prinzipien lassen sich auf algorithmische Entscheidungen übertragen: Auch hier gilt es, potenzielle Verzerrungen, diesmal daten- oder modellinduziert, systematisch zu identifizieren. Da KI-gestützte Auswahlverfahren bekannte Muster sozialer Ungleichheit reproduzieren können, bleibt menschliche Reflexionskompetenz ein zentraler Bestandteil des Auswahlprozesses (Fleck et al. 2022). Sie richtet sich nicht nur auf das eigene Urteil, sondern auch auf die Charakteristika des technischen Systems. Die Verbindung von Kompetenz und Konfidenz bildet damit die Grundlage für eine verantwortungsvolle Nutzung von KI in der Personalauswahl (Domsch et al. 2019).

4. Entwicklung des Selbsteinschätzungsfragebogens

Die Entwicklung des Selbsteinschätzungsinstruments folgte einem theoriebasierten Vorgehen. Ziel war es, die für die sichere Nutzung von Hochrisiko-KI-Systemen in der Personalauswahl relevanten Kompetenz- und Konfidenzdimensionen systematisch zu operationalisieren. Grundlage bildeten Modelle der AI Literacy und AI Competence, die Wissen, Verständnis, Anwendungserfahrung, kritische Bewertung und ethische Orientierung als zentrale Bausteine des kompetenten Umgangs mit KI identifizieren (Long & Magerko 2020; Wienrich et al. 2022). Ergänzend wurden Erkenntnisse der Entscheidungs- und Vertrauensforschung einbezogen, welche die Bedeutung angemessen kalibrierter Konfidenz für die Qualität menschlicher Kontrolle hervorheben (Zhang et al. 2020; Chong et al. 2022). Zur Erfassung der Selbsteinschätzungen wird eine gerichtete 5-stufige Likertskala eingesetzt: **1** (trifft überhaupt nicht zu), **2** (trifft eher nicht zu), **3** (trifft teils/teils zu), **4** (trifft eher zu), **5** (trifft vollständig zu

4.1 Erfassung von Kompetenz und Konfidenz

Die Kompetenzskala umfasst vier Bereiche, die für eine wirksame menschliche Kontrolle von KI-Systemen zentral sind: Verständnis von KI-Funktionsweisen (Items 1-3), Interpretationsfähigkeit (Items 4-6), Bias-Sensibilität (Items 7, 8) und ethische Orientierung (Items 9, 10). Jede Dimension wird durch mehrere Items operationalisiert, die sich an typischen Entscheidungssituationen der Personalauswahl orientieren:

1. Ich verstehe, welche Arten von Daten ein KI-System für Auswahlentscheidungen benötigt.
2. Ich weiß, wie Trainingsdaten die Ergebnisse eines KI-Modells beeinflussen können.
3. Ich kann einschätzen, wann ein KI-System aufgrund begrenzter Daten besonders unsicher ist.
4. Ich kann die Ausgaben eines KI-Systems so interpretieren, dass ich daraus fundierte Schlüsse ziehe.
5. Ich kann die Zuverlässigkeit einer KI-Empfehlung anhand der verfügbaren Informationen bewerten.
6. Ich erkenne, wenn ein KI-Ergebnis nicht vollständig mit den vorliegenden Bewerbungsinformationen übereinstimmt.
7. Ich kann beurteilen, ob bestimmte Bewerbergruppen durch ein KI-Verfahren potenziell benachteiligt werden.
8. Ich erkenne Hinweise auf mögliche Verzerrungen in KI-generierten Empfehlungen.
9. Ich beziehe ethische Überlegungen ein, wenn ich Entscheidungen eines KI-Systems prüfe.
10. Ich achte darauf, dass KI-Ergebnisse mit Fairness- und Gleichbehandlungsgrundsätzen vereinbar sind.

Die Konfidenzskala zielt auf die Sicherheit im Umgang mit KI-Entscheidungen. Forschung zeigt, dass Fehleinschätzungen, also Über- wie Unterkonfidenz die Wirksamkeit menschlicher Aufsicht deutlich beeinträchtigen können (Chong et al. 2022; Zhang et al. 2020). Die Items erfassen die Sicherheit des Urteils (Items 1-4 & 10), die Bereitschaft zur Korrektur (Items 4-6) und die Wahrnehmung der eigenen Verantwortung (7-9):

1. Ich fühle mich sicher dabei, Entscheidungen eines KI-Systems zu bewerten.
2. Ich kann meine Einschätzung zu KI-Ergebnissen klar und nachvollziehbar begründen.
3. Ich traue mir zu, Unsicherheiten in KI-Ausgaben richtig einzuschätzen.
4. Ich korrigiere eine KI-Entscheidung, wenn meine eigene Analyse Zweifel aufzeigt.
5. Ich lehne KI-Empfehlungen ab, wenn sie fachlich nicht plausibel erscheinen.
6. Ich erkenne Situationen, in denen eine menschliche Entscheidung gegenüber der KI vorzuziehen ist.
7. Mir ist bewusst, dass ich die letztendliche Verantwortung für die Entscheidung trage.
8. Ich fühle mich in der Lage, diese Verantwortung auch bei KI-Unterstützung zuverlässig wahrzunehmen.
9. Ich weiß, wann ich zusätzliche Informationen benötige, bevor ich eine KI-Entscheidung bestätige.
10. Ich bin sicher, dass ich auch in komplexen Auswahlprozessen angemessen eingreifen kann.

5. Anwendungsperspektiven

Das Instrument ermöglicht eine differenzierte Identifikation von Kompetenz- und Konfidenzprofilen der Anwender. Diese Profile unterstützen Organisationen dabei, Qualifizierungsbedarfe sichtbar zu machen und Maßnahmen gezielt auszurichten, etwa durch Trainings zur Interpretation algorithmischer Ergebnisse oder zur Reflexion möglicher Verzerrungen. Für Arbeitsschutz und Compliance bietet das Verfahren eine Grundlage, um Risiken im Umgang mit Hochrisiko-KI systematisch einzuschätzen und organisatorische Schutzmaßnahmen abzuleiten, beispielsweise klare Verantwortungszuweisungen oder dokumentierte Prüfverfahren (BMAS 2023). Dabei spielen Profile von Konfidenz und Kompetenz eine besondere Rolle (Tabelle 1).

Tabelle 1: *Auswirkungen der vier Kompetenzprofile.*

	Konfidenz niedrig	**Konfidenz hoch**
Kompetenz niedrig	Unsicher & unkundig: Vermeidung/Blindes Folgen	Sicher & unkundig: Fehlkalibrierung/Automation Bias
Kompetenz hoch	Unsicher & kundig: Überprüfungslast/Unterausnutzung	Sicher & kundig: Kalibrierte Nutzung/Monitoring gegen Drift

Der Fragebogen kann zudem in Prozesse der KI-Governance integriert werden, indem er Rückmeldungen über die tatsächliche Nutzungssicherheit liefert und damit die kontinuierliche Bewertung KI-gestützter Arbeitssysteme unterstützt. Zugleich bestehen Grenzen, da Selbsteinschätzungen kontextabhängig sind und nicht ohne Weiteres auf tatsächliches Verhalten schließen lassen. Daraus ergibt sich weiterer Forschungsbedarf, insbesondere hinsichtlich der Validierung des Instruments, der Verknüpfung mit Verhaltensdaten sowie dem Vergleich mit realen Entscheidungen in betrieblichen, KI-assistierten Auswahlprozessen.

Insgesamt trägt das Instrument dazu bei, menschliche Aufsicht bei KI-gestützten Auswahlverfahren systematisch zu stärken und arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse in die Gestaltung sicherer und fairer Personalarbeitsprozesse einzubinden.

6. Literatur

Peters R (2020) Robo-Recruiting – Einsatz künstlicher Intelligenz bei der Personalauswahl. Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages, Themenkurzprofil 40:1–12.

Fleck L, Rounding N, Özgül P (2022) Künstliche Intelligenz in der Personalauswahl. ai:conomics Kurzdossier, Denkfabrik Digitale Arbeitsgesellschaft (BMAS):1–20.

Deutsches Institut für Menschenrechte (2021) Algorithmische Entscheidungssysteme: Menschenrechtliche Vorgaben und Entwicklungen auf internationaler Ebene. Deutsches Institut für Menschenrechte, Berlin:1–46.

Palmer C, Kersting M (2017) Berufliche Eignung und ihre Diagnostik. In: Krause D (Hrsg) Personalauswahl. Springer, Berlin:31–56.

Orwat C (2017) Diskriminierungsrisiken durch Verwendung von Algorithmen. Antidiskriminierungsstelle des Bundes, Berlin:1–204.

Carstensen T, Ganz K (2023) Vom Algorithmus diskriminiert? Zur Aushandlung von Gender in Diskursen über Künstliche Intelligenz und Arbeit. Working Paper 274, Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf:1–65.

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (2023) Arbeiten mit Künstlicher Intelligenz – Perspektiven für eine menschenzentrierte Gestaltung von KI. BMAS, Berlin:1–27.

Deutscher Ethikrat (2023) Mensch und Maschine. Herausforderungen durch Künstliche Intelligenz. Stellungnahme. Deutscher Ethikrat, Berlin:1–379.

Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Text von Bedeutung für den EWR).

Chong L, Zhang G, Goucher-Lambert K, Kotovsky K, Cagan J (2022) Human confidence in artificial intelligence and in themselves: The evolution and impact of confidence on adoption of AI advice. Computers in Human Behavior 127:107018.

Domsch ME, Ladwig DH, Weber FC (2019) Unconscious Bias – Eine Einführung zu Vorurteilen im Arbeitsleben. In: Vorurteile im Arbeitsleben: Unconscious Bias erkennen, vermeiden und abbauen. Springer, Berlin:3–20.

Long D, Magerko B (2020) What is AI literacy? Competencies and design considerations. Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM.

Wienrich C, Carolus A, Markus A, Augustin Y (2022) AI Literacy: Kompetenzdimensionen und Einflussfaktoren im Kontext von Arbeit. Denkfabrik Digitale Arbeitsgesellschaft, Berlin:1–xx.

Zhang Y, Liao QV, Bellamy RK (2020) Effect of confidence and explanation on accuracy and trust calibration in AI-assisted decision making. Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency:295–305.

Human-Centered Design of Augmented Reality Cues in Teleoperation

Kuang-Jou CHEN, Chih-Hsing CHU

Department of Industrial Engineering and Engineer Management
National Tsing Hua University, Hsinchu,Taiwan

Abstract: Teleoperation enables operators to act beyond physical constraints but may reduce performance due to misalignment between control frames and visual references. Augmented Reality (AR) can supplement spatial information to support situational awareness and mental rotation in remote environments. Sixteen participants evaluated four AR cue designs that differed in dimensionality and placement across camera views. Task performance, eye movement behavior, and subjective questionnaires were measured. The results demonstrate that the effectiveness of AR cue designs is view-dependent, with different cues leading to distinct performance under different views. These findings highlight the importance of aligning AR cue design with visual perspective to support efficient and human-centered teleoperation.

Keywords: Teleoperation, Augmented Reality, Mental Rotation, Reference Frame, Mental Workload

1. Introduction

Teleoperation enables human-robot collaboration (HRC) beyond physical constraints but remains challenged by camera configuration, degraded depth perception (Chen et al., 2007), and control frame selection (Praveena et al., 2022). Different camera configurations provide distinct spatial information. Eye-to-hand views provide a wider field of view and spatial context, whereas eye-on-hand views provide localized visual information and are often required in confined workspaces (Wu et al., 2022). Both configurations rely on 2D camera images and inherently degrade depth perception (Chen et al., 2007). Additionally, control frame selection critically influences teleoperation performance. View control frame can reduce mental rotation by aligning control directions with visual feedback (Praveena et al., 2022); whereas robot control frame or task-oriented control frame better support task goals (Hiatt & Simmons, 2006). Control frames are not always aligned with camera views, which may lead to display-control misalignment, increasing cognitive workload (DeJong et al., 2011).

Augmented reality (AR) has been introduced to mitigate display-control misalignment by providing supplementary spatial cues (Su et al., 2023). Prior studies have shown that situated AR visualizations can improve teleoperation performance (Chintamani et al., 2009). However, views convey spatial information in different camera configurations, suggesting that AR cue designs effective under one view may not directly transfer to another. In particular, cue dimensionality and spatial placement may interact with views. Therefore, this study investigated the interaction between camera views and AR cue designs, focusing on cue dimensionality and placement, to enhance human-centered teleoperation.

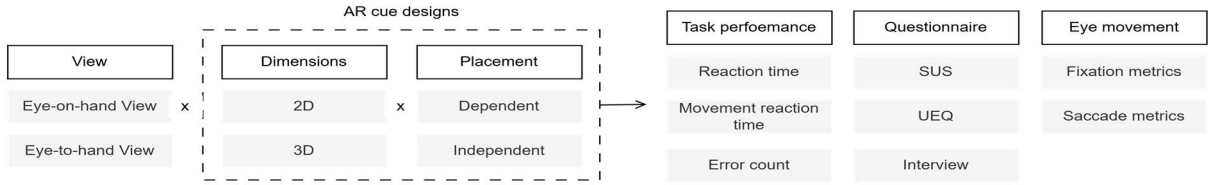
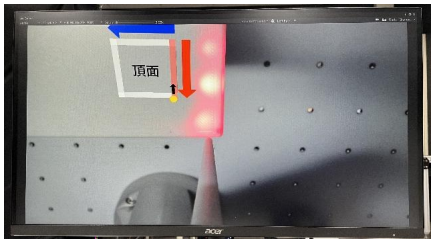


***Figure 1**: Experimental design and evaluation measures.*

***Table 1:** AR cues design features.*

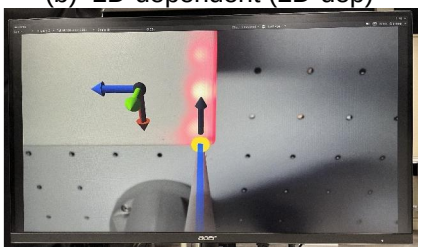
AR Cue designs		Dimensionality	
		2D	3D
Placement	Dependent	Situated Shared referent frame	Situated Shared referent frame
	Independent	Non-situated Independent cue frame	Non-situated Independent cue frame

(a) 2D-independent (2D-indep)



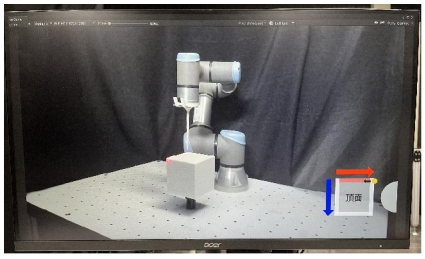
(b) 2D-dependent (2D-dep)

(c) 3D-independent (3D-indep)

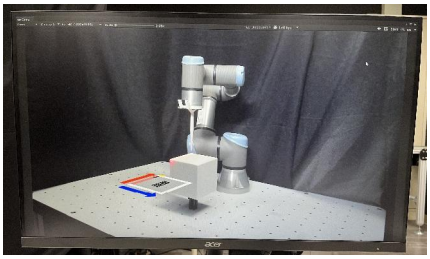


(d) 3D-dependent (3D-dep)

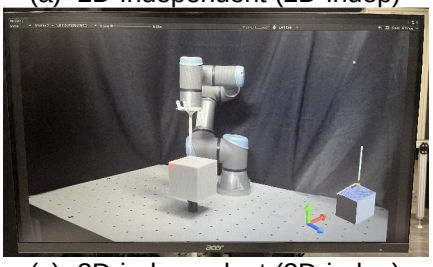
***Figure 2:** AR cue design conditions under the eye-on-hand view.*



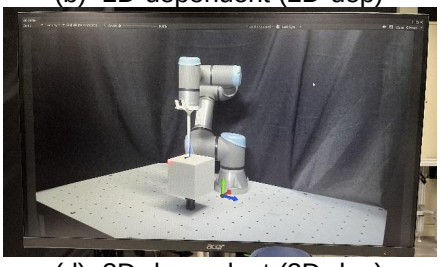
(a) 2D-independent (2D-indep)



(b) 2D-dependent (2D-dep)



(c) 3D-independent (3D-indep)



(d) 3D-dependent (3D-dep)

***Figure 3:** AR cue design conditions under the eye-to-hand view.*

2. Experiment Design

Figure 1 illustrates evaluation criteria and a three-factorial design experiment to answer the following research questions: (1) how camera views influence the effectiveness of AR cues under display-control misalignment, and (2) how cue dimensionality and placement interact with views to shape users' control strategies. The experiment employed a within-subjects design with three factors: view, placement, and dimensionality of cues. Each participant experienced four AR cue designs under two view conditions, resulting in eight experimental conditions. The teleoperation task and experiment setup were adapted from a previous study (Chen & Chu, 2025). The AR cues conveyed three types of information: the current position of the robot end effector, the visualization of the control frame, and the movement direction to support teleoperation. The designs of the four AR cues are summarized in Table 1 and illustrated in Figures 2 and 3. Task performance, subjective questionnaires and eye movement data were collected. Areas of interest (AOIs) were defined at the locations where AR cues appeared on the interface.

3. Result

Sixteen participants (eight female, eight male; aged 20-28) with prior teleoperation experience were recruited. All were right-handed with normal or corrected-to-normal vision and no color deficiencies. A mixed linear model was applied, treating participants as a random effect. Reaction time data were log-transformed due to skewness, and a significance level of 0.05 was used. Significant results are summarized in Table 2.

Table 2: *Summary of statistically significant effects across Views and AR Cue Designs.*

	Eye-on-hand view	Eye-to-hand view
Reaction Time	3D-indep < others	3D-dep < 2D-indep
Movement Reaction Time	3D-indep < others	3D-dep < others
Total Fixation Duration within the AOI	2D-indep < others	No difference
Percentage of Fixation Duration within the AOI	3D-dep = 3D-indep > 2D-indep	No difference
Mean Fixation Duration within the AOI	No difference	3D-dep > others
Number of Fixations within the AOI	3D-dep = 3D-indep > 2D-indep	No difference
Number of Saccades within the AOI	3D-dep = 3D-indep > 2D-indep 3D-dep > 2D-dep	No difference
Saccade Amplitude	2D-indep > 3D-dep = 2D-dep 3D-indep > 3D-dep	2D-indep = 3D-indep > 2D-dep = 3D-dep
UEQ	No difference	Dep > Indep in supportive, easy, efficient, clear, exciting, interesting

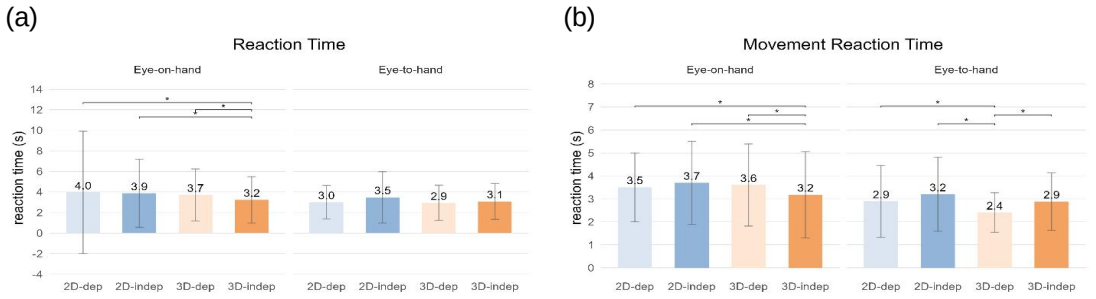


Figure 4: *Task performance across views and AR cue designs.*

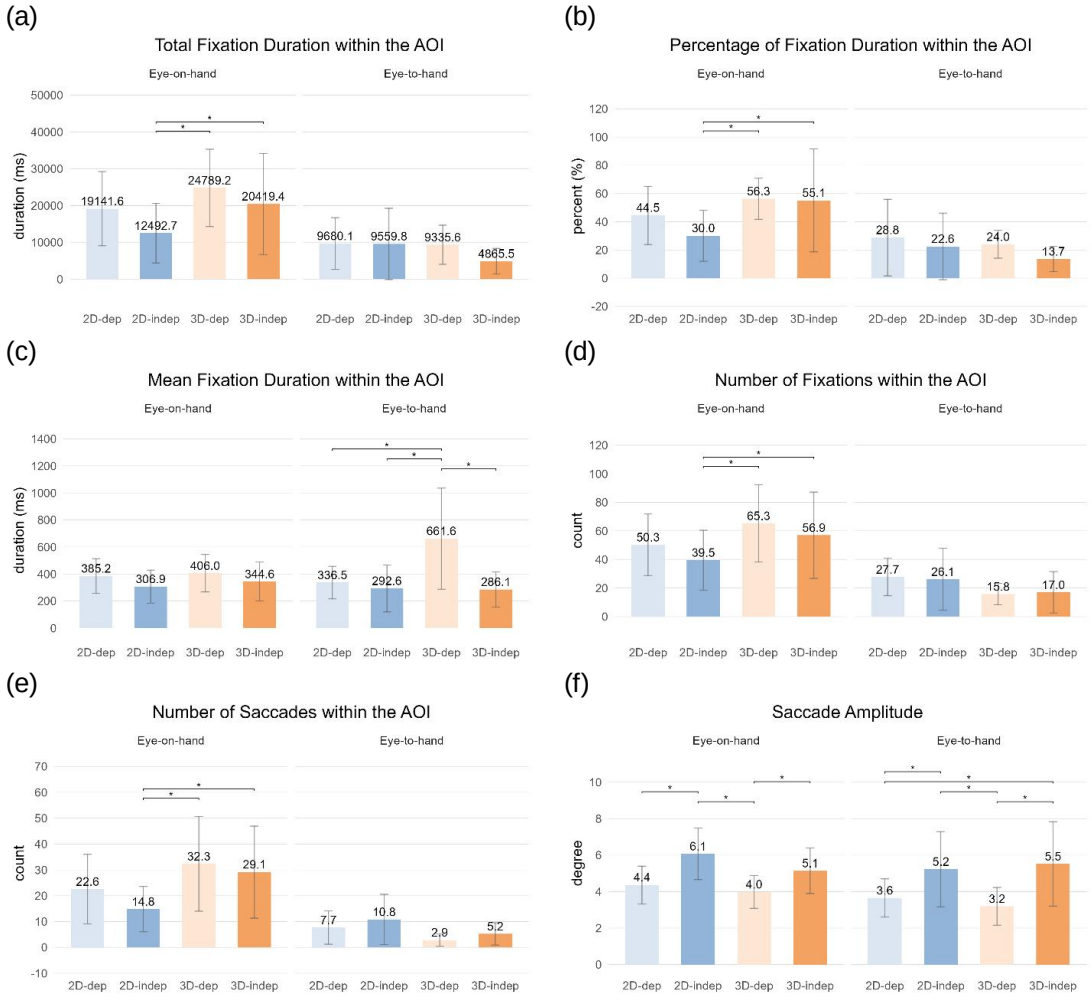


Figure 5: *Eye movement across views and AR cue designs.*

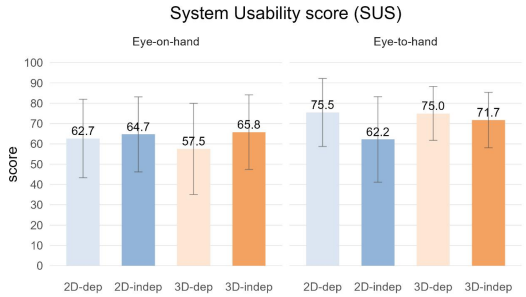


Figure 6: *Usability across views and AR cue designs.*

AR cue designs significantly influenced task performance and eye movement behavior under the eye-on-hand view. The 3D-independent cue resulted in the shortest reaction time (Figure 4) and was preferred by nine participants, receiving higher SUS scores (Figure 6), whereas the 3D-dependent cue was least preferred by ten participants. Errors were rare across all AR designs, with approximately four to six errors out of 704 total responses, indicating a very low error rate. Cue dimensionality significantly affected visual attention, with 3D cues leading to longer fixation durations, higher fixation percentages, and more fixations and saccades than 2D cues. Cue placement significantly influenced saccade amplitude, with independent cues inducing larger saccades. Notably, participants maintained a high level of visual attention to the 3D-independent cue even when it was positioned at the periphery.

Under the eye-to-hand view, AR cue designs also significantly affected task performance. The 3D-dependent cue had the shortest reaction time, particularly for movement responses (Figure 4) and was preferred by 13 participants, receiving the highest SUS scores (Figure 6). In contrast, the 2D-independent cue had the longest reaction time and was least preferred by 15 participants, receiving the lowest SUS scores. The differences in SUS scores across conditions did not reach statistical significance. Errors were rare across all AR designs, with approximately three to five errors out of 704 total responses, indicating a very low error rate. Dependent cues received significantly higher ratings on several UEQ dimensions, including clarity, efficiency, and supportiveness. Eye movement analysis revealed that the 3D-dependent cue had the longest mean fixation duration, and that independent cues were associated with larger saccade amplitudes.

The interaction between the views and AR design was significant. Under the eye-on-hand configuration, the 3D-independent cue yielded superior performance and higher user preference. In contrast, under the eye-to-hand configuration, the 3D-dependent cue was more effective.

4. Discussion

4.1 Effects of Situated Visualization on Spatial Comprehension and Information Integration

The spatial coordinate frame of AR cues influences participants' spatial comprehension and information integration strategies. When the cue frame was consistent with the visual content of the view, as in dependent cues, participants could interpret spatial relationships directly without additional mental rotation. In contrast, independent cues may introduce cognitive costs when the cue frame was misaligned with the view, particularly for the 2D-independent cue under the eye-to-hand

configuration (Figure 3(a)). Thus, participants performed additional mental transformation to map the flattened cue information onto the spatial relationships depicted in the view, resulting in longer reaction times and lower usability.

The spatial coordinate frame of AR cues also shaped strategies for integrating visual information. Under the eye-on-hand view, the 3D-independent cue provided global spatial information similar to that of an eye-to-hand view. Participants adopted different strategies, either relying primarily on the cue or on the view. Integrating both sources simultaneously was cognitively demanding, leading users to selectively attend to one information source rather than fully integrating both.

4.2 Trade-off Between Placement-Dependent and Independent AR Cues

Dependent cues facilitate direct comparison of spatial relationships by maintaining proximity to their referents, but may increase visual complexity, potentially leading to information overload, particularly in the eye-on-hand view. In contrast, independent cues contribute to a cleaner and more organized interface but increase visual scanning demands as users shift attention between the cue and the task view, resulting in longer saccade distances.

4.3 View-Dependent AR Cue Design

The effectiveness of AR cue dimensionality was view-dependent. Under the eye-on-hand view, participants showed no clear preference between 2D and 3D cues, reflecting a trade-off between global spatial understanding and efficient integration with task-oriented surfaces. Under the eye-to-hand view, however, participants predominantly preferred 3D cues, as the dimensional consistency between the cues and the eye-to-hand view facilitated intuitive interpretation of spatial relationships and control frame. Overall, AR cue designs improved performance differed across views. The 3D-independent cue was most effective under the eye-on-hand view by compensating for limited spatial context. In contrast, the 3D-dependent cue was more effective under the eye-to-hand view due to its alignment with the camera view. These findings highlight the importance of view-dependent AR cue design in teleoperation.

5. Conclusion

This study investigated the view-dependent AR cue designs in teleoperation. Results showed that the 3D-independent cue improved performance under the eye-on-hand view, whereas the 3D-dependent cue was effective under the eye-to-hand view. Cue dimensionality and placement further shaped performance and interaction strategies, reflecting trade-offs between global spatial understanding, visual complexity and visual scanning demands. Moreover, AR cue designs influenced users' strategies for integrating spatial information. Under an eye-on-hand view with a 3D-independent cue, participants adopted diverse strategies, including relying on the cue, the view, or selectively integrating both. These findings highlight the importance of considering camera view when designing AR cues for human-centered teleoperation systems.

6. Reference

Chen, J. Y., Haas, E. C., & Barnes, M. J. (2007). Hum. performance issues and user interface design for teleoperated robots. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, *37*(6), 1231-1245.

Chen, K.-J., & Chu, C.-H. (2025). Exploring the Effects of Control Frames and Views in Teleoperation. 2025 IEEE 5th International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS),

Chintamani, K., Cao, A., Ellis, R. D., & Pandya, A. K. (2009). Improved telemanipulator navigation during display-control misalignments using augmented reality cues. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, *40*(1), 29-39.

DeJong, B., Colgate, J., & Peshkin, M. (2011). Mental transformations in human-robot interaction. In *Mixed reality and human-robot interaction* (pp. 35-51). Springer.

Hiatt, L. M., & Simmons, R. (2006). Coordinate frames in robotic teleoperation. 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems,

Praveena, P., Molina, L., Wang, Y., Senft, E., Mutlu, B., & Gleicher, M. (2022). Understanding control frames in multi-camera robot telemanipulation. 2022 17th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI),

Su, Y.-P., Chen, X.-Q., Zhou, C., Pearson, L. H., Pretty, C. G., & Chase, J. G. (2023). Integrating virtual, mixed, and augmented reality into remote robotic applications: A brief review of extended reality-enhanced robotic systems for intuitive telemanipulation and telemanufacturing tasks in hazardous conditions. *Applied Sciences*, *13*(22), 12129.

Wu, L., Yu, F., Do, T. N., & Wang, J. (2022). Camera frame misalignment in a teleoperated eye-in-hand robot: Effects and a simple correction method. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, *53*(1), 2-12.

Acknowledgments: This work was supported by Ministry of Science and Technology Council Taiwan, Grant 114-2218-E-007-017.

Inklusive Gestaltung eines Chatbots zur Verbesserung des Arbeitsmarktzugangs von Menschen mit Behinderungen – Ergebnisse und Herausforderungen einer qualitativen Anforderungsanalyse

Ina SCHIEDERMAIR, Natalie MARTIN, Tobias KOPP

Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken (ILIN), Hochschule Karlsruhe
Moltkestraße 30, D-76133 Karlsruhe

Kurzfassung: Der frühzeitige Einbezug und die Berücksichtigung der Interessen verschiedener Zielgruppen sind zentrale Prinzipien der menschenzentrierten Technikgestaltung. Besondere Relevanz besitzt die menschenzentrierte Entwicklung Künstlicher Intelligenz (KI), wenn vulnerable, heterogene Zielgruppen involviert sind und sensible Anwendungskontexte adressiert werden, wie beispielsweise bei der Inklusion von Menschen mit Behinderungen. Dieser Beitrag thematisiert die Ergebnisse einer Anforderungserhebung für die Entwicklung eines KI-basierten Chatbots, der die Teilhabe von Menschen mit Behinderungen am allgemeinen Arbeitsmarkt erhöhen soll, indem er über staatliche Förderleistungen informiert. Außerdem werden Herausforderungen der menschenzentrierten Gestaltung anhand des vorliegenden Anwendungsfalls diskutiert.

Schlüsselwörter: menschenzentrierte Technikgestaltung, Chatbot,Inklusion, Anforderungsanalyse, Künstliche Intelligenz

1. Inklusion und Menschenzentrierte Technikgestaltung

Die Teilhabe von Menschen mit Behinderungen (MmB) am allgemeinen Arbeitsmarkt ist ein wichtiger Schritt in Richtung Inklusion, Diversität und Gerechtigkeit in der Arbeitswelt (Hensen & Trögeler 2023). Die Einbindung von MmB in den allgemeinen Arbeitsmarkt eröffnet zudem die Möglichkeit, ungenutztes inländisches Arbeitskräftepotenzial zu erschließen und somit dem aufgrund demografischer Entwicklungen vorherrschenden Fach- und Arbeitskräftemangel entgegenzuwirken (Hiesinger & Kubis 2022, Kompetenzzentrum Fachkräftesicherung & Aktion Mensch 2024, Hensen & Trögeler 2023). Jedoch bestehen oftmals erhebliche Zugangsbeschränkungen zum allgemeinen Arbeitsmarkt für MmB. Selbst wenn der Zugang gelingt, finden Betroffene häufig suboptimale Arbeitsbedingungen vor. Obwohl eine Vielzahl an staatlichen Fördermöglichkeiten für die Einstellung und Beschäftigung von MmB bestehen, die entweder Arbeitgebende oder zum Teil auch (potenzielle) Arbeitnehmende mit Behinderungen beantragen können, herrscht breite Unkenntnis über diese Angebote (Metzler et al. 2020).

Um diese Informationskluft zu überwinden und die Teilhabe von MmB am allgemeinen Arbeitsmarkt zu fördern, wird im Forschungsprojekt CHAT-KI ein auf Künstlicher Intelligenz (KI) basierender Chatbot entwickelt, der über staatliche Förderleistungen zur Beschäftigung, bzw. Arbeitsaufnahme von MmB am allgemeinen Arbeitsmarkt informiert. Ein zentraler Aspekt dabei ist die Menschenzentrierung

(Auernhammer 2020, Guest et al. 2022). Diese fordert, dass spezifische Anforderungen der Zielgruppen und somit der künftigen Nutzenden einer Lösung bei der Technologieentwicklung möglichst frühzeitig zu berücksichtigen sind (Steil et al. 2023, Leopold et al. 2022). Dies gilt insbesondere für spezielle Zielgruppen, wie z.B. MmB, zumal deren Bedarfe tendenziell sehr individuell und teils konträr ausfallen. Ferner kommt es häufig zu Veränderungen der Bedarfslage, sodass ein hohes Maß an Flexibilität notwendig ist (Steil et al. 2023).

Dieser Artikel präsentiert die Ergebnisse einer Anforderungsanalyse zur Erhebung der Bedarfe und Erwartungen der Zielgruppen an den Chatbot. Neben zentralen Ergebnissen dieser Anforderungserhebung liegt der Fokus auf der Diskussion der beobachteten Herausforderungen, die ein menschenzentrierter Gestaltungsansatz bei dieser speziellen Zielgruppe aufweist. Es wird diskutiert inwiefern klassische Gestaltungsprinzipien menschenzentrierter KI-Entwicklung in diesem Kontext an ihre Grenzen stoßen.

2. Methodik

Die Erhebung der Anforderungen wurde mit Hilfe qualitativer leitfadengestützter Interviews durchgeführt. Diese adressieren zwei Zielgruppen des Chatbots: (1) potenzielle Arbeitnehmende, also MmB, die eine Stelle auf dem allgemeinen Arbeitsmarkt mit suboptimalen Arbeitsbedingungen innehaben oder Arbeit suchen, und (2) Arbeitgebende, die MmB beschäftigen oder dies planen. Die Kontakte für die Interviews beider Zielgruppen kamen über eine Werkstatt für MmB (WfbM) zustande.

Im April 2025 wurden acht Interviews mit potenziellen Arbeitnehmenden in einem persönlichen Setting geführt. Die Befragten dieser Zielgruppe weisen überwiegend kognitive oder psychische Beeinträchtigungen auf, eine Person weist zusätzlich eine körperliche Behinderung auf.

Weitere sieben Interviews mit Arbeitgebenden fanden online im Mai und Juni 2025 statt. Die Arbeitgebenden stammen aus verschiedenen Bereichen, wie der Seniorenpflege, IT, Gastronomie, Tiermedizin, des Maschinenbaus, des Einzelhandels und des öffentlichen Rechts.

Bei der Befragung der Arbeitnehmerseite stand zunächst im Fokus, inwiefern die staatlichen Förderleistungen bekannt sind, welche Erfahrungen und welche Barrieren bei der Informationsbeschaffung, insbesondere online, vorliegen. Anschließend wurden die allgemeine Einstellung zu Chatbots und die Erfahrungen damit sowie konkrete Anforderungen und Erwartungen an den zu entwickelnden KI-basierten Chatbot erfragt. Bei der Erhebung der Anforderungen war bei dieser Zielgruppe insbesondere das Thema Barrierefreiheit wichtig. So wurden Präferenzen wie Leichte Sprache oder auch die Nutzung von Audioein- und -ausgabe erfragt. Abschließend wurde die Einschätzung möglicher mit dem Chatbot verbundener Herausforderungen sowie des Vertrauens in den Chatbot thematisiert.

Im Rahmen der Interviews mit den Arbeitgebenden wurden die gleichen Themen behandelt, die Schwerpunkte jedoch etwas anders gesetzt. Herausforderungen bei der Nutzung des Internets sowie Barrierefreiheit hatten einen geringeren Stellenwert. Dafür standen die Vorerfahrungen mit staatlichen Leistungen sowie Erfahrungen mit der Beschäftigung von MmB stärker im Fokus.

Die Interviews wurden aufgezeichnet, transkribiert und mithilfe der Software MaxQDA nach Mayring (2023) und Kuckartz (2016) kodiert. Zentrale Ergebnisse der Interviews werden im Folgenden präsentiert.

3. Zentrale Ergebnisse der Anforderungsanalyse

3.1 Kenntnis der staatlichen Förderleistungen

Die Interviews zeigen eindrücklich das unterschiedliche Wissen über die staatlichen Förderleistungen für MmB bzw. deren Arbeitgebende in beiden Zielgruppen. Während die Arbeitgeberseite mit diesen Leistungen bereits vertraut ist und auch schon einige davon in Anspruch genommen hat, sind sie einem großen Teil der Arbeitnehmerseite unbekannt. Erfahrungen bei der Suche nach diesen Leistungen weist jedoch kaum ein Befragter auf. Arbeitnehmende könnten sich zwar bei der WfbM oder dem Integrationsfachdienst informieren, haben sich aber zumeist bisher nicht eigenständig mit dem Thema beschäftigt. Arbeitgebende hingegen erhalten viel Unterstützung von der Bundesagentur für Arbeit und sehen daher keine Notwendigkeit einer eigenen Suche.

3.2 Nutzungsbereitschaft für den KI-basierten Chatbot

Eine eigenständige Suche nach Förderleistungen, ebenso wie die Nutzung eines KI-basierten Chatbots setzen einige Grundkenntnisse und Fähigkeit der Internetnutzung voraus. Die Mehrheit der befragten MmB kommt mit der Informationssuche im Internet zwar „*sehr gut klar“* (Arbeitnehmender (AN) 5), einige fühlen sich jedoch „*manchmal ein bisschen überfordert*“, da es „*Immer wieder was Neues*“ (AN7) und Unbekanntes gibt. Komplexe Inhalte müssen oftmals mehrfach gelesen werden, um sie verstehen zu können. Zudem besteht bei einigen Befragten ein grundsätzliches Misstrauen gegenüber Internetquellen und auch eine gewisse Skepsis gegenüber Chatbots. So wäre es einem Befragten „*lieber persönlich zu reden*“ (AN7), denn bei einem Chatbot „*fehlt (…) das Menschliche*“ (AN3). Ein anderer Befragter bemängelt „*da steckt kein Mensch dahinter, das ist reine KI und das find ich nicht gut*“ (AN3). Entsprechend zurückhaltend sind die befragten MmB bei ihrer Einschätzung, ob sie den geplanten Chatbot gerne nutzen würden. Während ein größerer Teil der Befragten die Nutzung eines solchen Chatbots befürwortet (*n* = 5), wollen andere keine verbindliche Zusage machen oder würden ihn nur nutzen, „*wenn es nicht anders geht*“ (AN7).

Ein anderes Bild zeichnet sich bei der Nutzungsbereitschaft der Arbeitgebenden ab. Einen Chatbot, der über Förderleistungen informiert, halten diese für **„***interessant*“ (Arbeitgeber (AG) 5) und „*unglaublich sinnvoll*“ (AG2). Auch die, die selbst bereits sehr gut aufgeklärt sind, sind der Ansicht, dass „*es (…) sehr sinnvoll (..) für Unternehmen (ist), die es (..) noch nicht kennen*“ (AG2). Dies ist auch der Fall, da Vorbehalte und Vorurteile bezüglich der Einstellung und Beschäftigung von MmB weit verbreitet sind. „*Viele haben (…) von Menschen mit Behinderungen, Einschränkungen, (..) völlig falsche Vorstellungen*“ (AG3), merkt einer der Befragten an. Andere meinen „*wenn Sie jemanden (..) kündigen möchten, der schwerbehindert ist, (…) müssen Sie (…) eine Anhörung (machen)*“ (AG4), wofür viele Arbeitgebende nicht bereit sind. Dies scheint eine weit verbreitete Ansicht zu sein, wie auch andere Befragte bestätigen. Hier wird im Chatbot das Potenzial erkannt, mit solchen Vorbehalten und Vorurteilen aufzuräumen.

3.3 Erwartungen und Anforderungen an den Chatbot

Trotz der Zurückhaltung der befragten MmB bezüglich ihrer Nutzungsbereitschaft des KI-basierten Chatbots äußerten einige auch positive Erwartungen. So könnte der

Chatbot die Suche nach Förderleistungen vereinfachen. Er sollte „*Sachen leichter erklären*“, „*dass ich es auch leichter verstehe*“ (AN5). Viele der befragten MmB zeigen Schwierigkeiten, konkrete Erwartungen an den Chatbot zu formulieren („*Das weiß ich leider nicht*“ (AN5), „*So spontan habe ich jetzt gerade nichts*“ (AN4)). Viele konnten Erwartungen eher auf konkretere Nachfrage formulieren. Diese beziehen sich dann zum einen auf die Arten von Informationen, die der Chatbot ausgeben sollte, z.B. „*was kann ich tun, wenn ich Hilfe brauch zur Unterstützung für Wohnung zur Miete*“ (AN3). Zum anderen wird auch die Angabe von Quellen für die Ausgaben befürwortet („*besser mit Quelle*“ (AN6), „*vielleicht wegen der Glaubwürdigkeit, dass ich (…) nicht was Falsches wieder gelesen habe*“ (AN2)) sowie auch die Möglichkeit der Weiterleitung an die Quelle oder andere hilfreiche Websites („*so ne Weiterleitung auf andere Webseiten*“ (AN3), „*mit Anhang zu Seiten wo ich dann auch hinkomm‘.*“ (AN1)).

Bezüglich der Barrierefreiheit des Chatbots bestehen verschiedene Anforderungen diese Zielgruppe, wie z.B. ein einfaches, stimmiges Layout, das „*vom Kontrast her, nicht (..) zu krass*“ (AN6) gestaltet ist, eine einstellbare Schriftgröße und eine „*möglichst einfach(e)*“ (AN1) Gestaltung und Bedienung. Weitere Aspekte beziehen sich auf Leichte Sprache und die Option zwischen Audio- bzw. Textein und -ausgabe wählen zu können. Die meisten Befragten haben eine Präferenz für Audio („*Ach, wenn sprechen geht*.“ (AN2)) oder Text („*Lieber schreiben*.“ (AN3)), während auch eine Befragte „*für beides offen*“ (AN3) ist. Die Option, bedarfsweise Leichte Sprache einstellen zu können, wird von den Befragten befürwortet, auch wenn viele angeben dies selbst nicht zu benötigen.

Auf Seiten der Arbeitgebenden erwarten einige durch den Chatbot einen Einstieg ins Thema finden zu können. Es wird betont, „*wenn man (..) fremd in der Materie ist (…) fehlen einem so die richtigen Begrifflichkeiten, um (…) zu suchen im Internet*“ (AG4). Entsprechend könnte der Chatbot das Potenzial bieten, an das Thema der Beschäftigung von MmB heranzuführen, wenn dazu noch keinerlei Erfahrungen vorliegen. „*Chancen (…) [liegen] natürlich ganz klar (in der) Vereinfachung*“ (AG2). Für den Beginn der Konversation mit dem Chatbot fänden die Befragten eine Information zur „*Aufklärung ganz wichtig (…) dass man (…) kurz und knapp gesagt bekommt, was das kann und was es vor allen Dingen nicht kann*“ (AG3), denn „*sonst gehe ich ja mit falschen Erwartungen dran*“ (AG5). Ferner besteht auch bei den Arbeitgebenden die Anforderung eines niederschwelligen Zugriffs, einer schlichten, übersichtlichen Gestaltung, „*eine[r] intuitive[n] Handhabbarkeit*“ (AG6) und „*eine[r] gute[n] Darstellung endgeräteunabhängig*“ (AG7). Eine entscheidende Anforderung ist zudem die Angabe von Quellen. Die befragten Arbeitgebenden sind der Ansicht, „*die Quellen sind immer wichtig, dass wir auch wissen wovon wir nachher sprechen und noch mal genauer nachlesen können*“ (AG1). Dies ist auch für viele die Voraussetzung, um dem Chatbot Vertrauen entgegen zu bringen.

Zur Frage des Vertrauens haben die befragten MmB unterschiedliche Ansichten. Während einige Befragte „dem dann schon vertrauen“ würden (AN6), gibt es auch Stimmen, die eher dazu tendieren die Ergebnisse „noch mal [zu] überprüfen“ (AN1). Einige knüpfen ihr Vertrauen auch an den Hersteller einer solchen Lösung.

3.4 Herausforderungen

Die meisten befragten MmB sehen „e*igentlich keine großen*“ (AN4) Herausforderungen bei der Nutzung des Chatbots. Zwei der Befragten nennen den Datenschutz als mögliche Herausforderung.

Auch die Arbeitgebenden thematisieren Datenschutz bei der Frage nach möglichen Herausforderungen des Chatbots, betrachten ihn jedoch nicht als kritischen Aspekt, denn „*da kommt es natürlich darauf an, (…) was man dort für Informationen rein gibt. Vielleicht muss das halt von vornherein klar sein, (…), dass dort keine DSGVO-nichtkonformen Sachen reinkommen*“ (AG6) und „*Namen sind eigentlich (…) auch gar nicht relevant, brauche ich ja nicht für die Anfrage*“ (AG2). Entsprechend sieht ein Befragter „*aus Arbeitgebersicht (…) keine Herausforderungen*“, sondern „*eigentlich nur Vorteile*“ (AG2).

4. Diskussion und Implikationen für die menschenzentrierte Technikgestaltung

Die Erhebung der Anforderungen seitens der beiden Zielgruppen, Arbeitnehmender mit Behinderungen und Arbeitgebender, verfolgt das Ziel der inklusiven Gestaltung und Entwicklung eines Chatbots. KI-Entwicklungen, deren Anwendungsgebiet stark auf den Menschen ausgerichtet ist, bedürfen einer inklusiven Technikgestaltung (Auernhammer 2020), die Erwartungen, Anforderungen und heterogene Bedarfe von Menschen mit verschiedenen Behinderungen adäquat berücksichtigt (Steil et al. 2023). Menschenzentrierte Ansätze fordern, diese Menschen bereits frühzeitig in den Entwicklungsprozess einer KI-Lösung einzubeziehen (Auernhammer 2020, Steil et al. 2023). Allerdings deuten die Interviewergebnisse darauf hin, dass diese Bestrebung mitunter mit methodischen Herausforderungen einhergeht, da die konkrete Formulierung von Anforderungen an eine noch nicht vorliegende KI-Lösung besonders für Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen eine Herausforderung darstellt. Offenbar besteht ein Spannungsfeld zwischen der frühzeitigen Einbeziehung der Zielgruppen und deren Komplexität. Folglich sind viele der geäußerten Anforderungen erwartbar und zielen nicht speziell auf den Inklusionsbereich ab. Auch andere Chatbots sollen die Anforderung erfüllen, schnell und jederzeit benötigte Informationen passgenau zu liefern (Brandtzaeg & Følstad 2017), eine Personalisierung durch den Nutzenden zu ermöglichen (Kuligowska 2015) uvm. Dies wirft die Frage auf, ob bezüglich der Erwartungen und Anforderungen an einen Chatbot mit diesem speziellen Fokus, abgesehen vom Thema der Barrierefreiheit, tatsächlich nennenswerte Unterschiede zu anderen Chatbots oder KI-Technologien bestehen. Anhand der durchgeführten Erhebung lässt sich nicht zweifelsfrei erkennen, dass die erhobenen Erwartungen und Anforderungen speziell auf den Bereich der Inklusion abzielen. Womöglich sind bei speziellen Zielgruppen andere Herangehensweisen erfolgversprechender. Anforderungserhebungen profitieren hier möglicherweise von alternativen Ansätzen, wie z.B. Workshop-basierte Verfahren (z.B. Galliers et al., 2012), design thinking Ansätze (z.B. Jussli & Gewald, 2021), o.ä. Andererseits könnte auch der Zeitpunkt der Partizipation der Zielgruppe einen Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse nehmen. Das Testen eines bereits prototypisch entwickelten Systems könnte der Zielgruppe unter Umständen deutlich leichter fallen. Durch die Möglichkeit, den Chatbot tatsächlich begutachten und testen zu können, lassen sich ggfs. weitere Anforderungen identifizieren, die neue, spezieller an den Anwendungsfall unseres Chatbots angelehnte Aspekte adressieren. Entsprechend könnte sich die Entwicklung eines Prototyps basierend auf erwartbaren Grundanforderungen anbieten, der dann durch die Interaktion mit der Zielgruppe iterativ bewertet, erweitert und verbessert wird.

Wird die Zielgruppe jedoch erst an dieser Stelle mit in die Entwicklung einbezogen, besteht unter Umständen die Gefahr, dass nur wenig über mögliche Alternativen zum Aufbau des vorgestellten Prototyps anhand erwarteter Standard-Anforderungen

reflektiert wird. Stattdessen könnten gestalterische Details in den Fokus der Testgruppen rücken, womit wiederum wertvolle Anregungen und Entwicklungsmöglichkeiten verloren gehen können.

Somit zeigen die Ergebnisse der vorgestellten Interviewstudie, dass eine menschenzentrierte, zielgruppenorientierte und partizipative Technikgestaltung in diesem Bereich, in dem sie besonders zentral ist, ebenfalls besonders komplex ist. Weitere Forschung zu adäquaten Partizipationsmethoden dieser Zielgruppe bei der Entwicklung von für sie vorgesehenen KI-Lösungen ist notwendig.

5. Literatur

Auernhammer J (2020) Human-centered AI: The role of human-centered design research in the development of AI. In: Proceedings of DRS Synergy – DRS International Conference, 11–14 August 2020. Design Research Society.

Brandtzaeg PB, Følstad A (2017) Why people use chatbots. In: Kompatsiaris Y (Ed) Internet Science. INSCI 2017. Lecture Notes in Computer Science, vol 10673. Cham: Springer, 377–392.

Galliers J, Wilson S, Roper A, Cocks N, Marshall J, Muscroft S, Pring T (2012) Words are not enough: Empowering people with aphasia in the design process. In: Proceedings of the 12th Participatory Design Conference. Roskilde, Denmark, 12–16 August.

Guest D, Knox A, Warhurst C (2022) Humanizing work in the digital age: Lessons from socio-technical systems and quality of working life initiatives. Human Relations 75(8):1461–1482. https://doi.org/10.1177/00187267221092674

Hensen J, Trögeler P (2023) Inklusion am Arbeitsplatz stärken: Wie und warum verhaltensökonomische Erkenntnisse helfen, Menschen mit Behinderungen bei Einstellungen seltener zu diskriminieren. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft, IW-Report 49/2023.

Hiesinger K, Kubis A (2022) Beschäftigung von Menschen mit Schwerbehinderungen: Betrieben liegen oftmals zu wenige passende Bewerbungen vor. Nürnberg: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB), IAB-Kurzbericht 11/2022.

Jussli A, Gewald H (2021) Senior DT – A design thinking method to improve requirements engineering for elderly citizens. In: Proceedings of the 29th IEEE International Requirements Engineering Conference Workshops (REW 2021). Piscataway, NJ: IEEE, 240–247.

Kompetenzzentrum Fachkräftesicherung, Aktion Mensch (2024) Neue Wege der Fachkräftesicherung. Decker S, Werner D (Eds). Bonn.

Kuligowska K (2015) Commercial chatbot: Performance evaluation, usability metrics and quality standards of embodied conversational agents. PCBR 2(2):1–16. https://doi.org/10.18483/pcbr.22

Kuckartz U (2016) Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung. 3rd ed. Weinheim: Beltz Juventa.

Leopold M, Ertas-Spantgar F, Müller SV (2022) Digitale assistive Technologien als Chancengeber für eine gleichberechtigte Teilhabe in der Gemeinschaft. In: Luthe EW, Müller SV, Schiering I (Eds) Assistive Technologien im Sozial- und Gesundheitssektor. Wiesbaden: Springer VS, 225–243.

Mayring P (2023) Einführung in die qualitative Sozialforschung: Eine Anleitung zu qualitativem Denken. 7th ed. Weinheim: Beltz.

Metzler C, Jansen A, Kurtenacker A (2020) Betriebliche Inklusion für Menschen mit Behinderung in Zeiten der Digitalisierung. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft, IW-Report 7/2020.

Steil JJ, Bullinger-Hoffmann A, André E (2023) Mit KI zu mehr Teilhabe in der Arbeitswelt: Potenziale, Einsatzmöglichkeiten und Herausforderungen. Lernende Systeme – Die Plattform für Künstliche Intelligenz (Ed).

Erhebung und Übersetzung von Werten in Systemanforderungen im Rahmen des Value-based Engineering: Ergebnisse eines Werteworkshops zur menschenzentrierten Entwicklung eines Chatbots

Natalie MARTIN, Lukas HEINI, Ina SCHIEDERMAIR, Tobias KOPP, Steffen KINKEL

Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken, Hochschule Karlsruhe
Moltkestraße 30, D-76133 Karlsruhe

Kurzfassung: Die Integration von Werten in die Entwicklung von Software und KI-basierten Systemen ist für Unternehmen eine große Herausforderung. Allgemeine Wertelisten reichen oft nicht aus, um relevante Werte umfassend zu implementieren. Dies ist allerdings besonders wichtig, wenn Systeme vulnerable und heterogene Zielgruppen adressieren. Value-based Engineering (VbE) ist ein innovativer Ansatz, um Werte zu erheben und in Anforderungen zu übersetzen. In diesem Beitrag wird ein Werteworkshop nach VbE vorgestellt, der im Rahmen der Entwicklung eines KI-basierten Chatbots durchgeführt wurde. Der Chatbot informiert Menschen mit Behinderungen (MmB) über staatliche Förderleistungen zur Beschäftigung und Arbeitsaufnahme. In dem Workshop wurden die relevanten Werte für den KI-basierten Chatbot identifiziert und anschließend in Anforderungen übersetzt. Der Beitrag diskutiert die Ergebnisse und methodischen Herausforderungen bei der Durchführung des Werteworkshops und darauffolgenden Operationalisierung in Anforderungen. Es werden Erkenntnisse für die Gestaltung menschenzentrierter KI-Systeme abgeleitet.

Schlüsselwörter: Value-based Engineering, Requirements Engineering, ethische Systemanforderungen, werteorientierte Softwareentwicklung, menschenzentrierte Technikgestaltung, Künstliche Intelligenz

1. Bedeutung ethischer Aspekte in der Technikentwicklung

Softwaresysteme und insbesondere Systeme der Künstlichen Intelligenz (KI) finden zunehmend in nahezu allen gesellschaftlichen Bereichen Anwendung (Cath 2018). Neben der privaten Nutzung setzen auch Unternehmen und staatliche Institutionen vermehrt KI-basierte Systeme ein. Mit dieser zunehmenden Verbreitung wird jedoch immer deutlicher, dass solche Systeme keineswegs neutral sind (Korenhof 2023), sondern bestehende gesellschaftliche Werte, Normen und Machtverhältnisse widerspiegeln und potenziell verstärken können (Zou & Schiebinger 2018). Damit einhergehend ist das Interesse an ethischer Technologiegestaltung in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Ereignisse wie der Volkswagen-Abgasskandal, das Brexit-Referendum und die Wahl Donald Trumps haben bestehende Ansätze der Technikethik infrage gestellt. Zudem verdeutlichen zunehmende Berichte über fehlgeleitete KI-Systeme die Notwendigkeit neuer ethischer Rahmenkonzepte (Spiekermann 2021).

In der Praxis zeigt sich allerdings eine Diskrepanz zwischen ethischem Anspruch und der tatsächlichen Umsetzung. So werden ethische Aspekte und Werte häufig erst

berücksichtigt, wenn es unbedingt erforderlich ist. Dies steht der Forderung entgegen, diese bereits frühzeitig in Entwicklungsprozesse zu integrieren. Zwar existieren zahlreiche unternehmensinterne Wertelisten und Prinzipien, die relevante Werte adressieren sollen, diese bleiben allerdings häufig zu ungenau und bieten daher nur begrenzte Unterstützung für die Umsetzung der enthaltenen Werte (Spiekermann 2021).

Vor diesem Hintergrund haben sich verschiedene Ansätze unter dem Sammelbegriff „Ethics by Design“ etabliert, die darauf abzielen, ethische Fragestellungen systematisch in den Technologiegestaltungsprozess zu integrieren. Ein prominenter Ansatz ist das Value Sensitive Design (VSD), das einen methodischen Rahmen zur Berücksichtigung menschlicher Werte im Design technischer Systeme bietet (Gerdes & Frandsen 2023). Allerdings scheinen auch Methoden wie das VSD häufig keine ausreichendend konkreten Handlungsanweisungen zu liefern. So wird die Umsetzung von Werten oftmals behindert und die ethische Verantwortung an andere Abteilungen delegiert (Spiekermann & Winkler 2020).

Als Weiterentwicklung des VSD wurde das Value-based Engineering (VbE) für ethische Technologiegestaltung entwickelt und standardisiert. Das VbE bietet konkrete Handlungsempfehlungen, indem es mithilfe von drei Phasen ein klar strukturiertes Vorgehen für den gesamten Entwicklungsprozess bereitstellt. VbE dient dabei als Leitfaden, mit dem Anwendungskontexte analysiert, die relevanten Werte erhoben und diese schließlich systematisch in ethische Systemanforderungen übersetzt werden können (Spiekermann 2023). In Rahmen dieses Beitrags wird das VbE-Vorgehen der Werteerhebung auf seine Anwendbarkeit anhand eines konkreten Entwicklungsprozesses untersucht. Bei der zu entwickelnden Anwendung handelt es sich um einen KI-gestützten Chatbot für Menschen mit Behinderungen (MmB). Dieser soll bei der Aufnahme und Erhaltung einer Beschäftigung unterstützen, indem er über verfügbare und passende Förderleistungen sämtlicher leistungserbringenden Institutionen informiert. Der vorliegende Beitrag präsentiert in diesem Zusammenhang einen durchgeführten Werteworkshop nach VbE, um die relevanten Werte für den zu entwickelnden Chatbot zu identifizieren, zu erheben und schlussendlich gemäß der VbE-Methodik in ethische Systemanforderungen zu übersetzen.

Im Rahmen des präsentierten Werteworkshops wurde die VbE-Methodik praktisch erprobt, um deren Anwendbarkeit für die Identifikation und Erhebung relevanter Werte zu testen. Der anschließende Übersetzungsprozess von identifizierten Werten in konkrete ethische Systemanforderungen wird exemplarisch anhand des Wertes „Autonomie“ dargestellt. Dieser Wert zeigte sich im Workshop als besonders relevant und wird zudem in der Literatur als zentral für die Gestaltung menschenzentrierter KI-Systeme hervorgehoben (Laitinen & Sahlgren 2021).

2. Durchführung des Werteworkshops

Um die Werte für den konkreten Use Case zu erheben, wurden zunächst die relevanten Stakeholder identifiziert und zur Teilnahme an einem Werteworkshop eingeladen. An dem Workshop nahmen drei Stakeholder teil. Der Workshop erfolgte gemäß der VbE-Methodik, die im Rahmen des IEEE 7000TM und ISO/IEC/IEEE 24748-7000 veröffentlicht wurde. Zu Beginn des dreistündigen Workshops wurde der Chatbot, dessen Hintergrund und die Zielsetzung des Workshops vorgestellt. Anschließend wurden nacheinander die dem VbE zugrundeliegenden ethischen Theorien Utilitarismus, Tugendethik und Pflichtethik präsentiert und erläutert.

Daraufhin bereiteten alle Teilnehmenden in Einzelarbeit die aus ihrer Sicht relevanten Werte für den Kontext auf einem Miro-Board auf. Im Anschluss wurden die Einzelergebnisse in der Gruppe diskutiert und zusammengetragen. Zu den Anforderungen an die Teilnehmenden zählte das Festhalten potenzieller positiver sowie negativer Auswirkungen für jeden vorgegebenen Wert.

Nach dem Werteworkshop wurden die Werte mithilfe einer konzeptionellen Werteanalyse erweitert und die wichtigsten Werte, sog. Kernwerte ermittelt, um diese anschließend zu priorisieren. Die Übersetzung in die ethischen Systemanforderungen wurde durch die Bildung der Kernwertcluster und die anschließende Definition der dazugehörigen Wertqualitäten vorgenommen (Spiekermann 2023; Madl et al. 2025).

Im Rahmen des Workshops wurden insgesamt 42 eigenständige ethische Werte identifiziert, die aus den Beiträgen der Teilnehmenden hervorgingen. Diese Anzahl deckt sich annähernd mit dem Richtwert der VbE-Methodik von etwa 50 Werten (Spiekermann 2023). Die Analyse der Häufigkeiten zeigt, dass der Wert Selbstständigkeit am häufigsten genannt wurde, gefolgt von Inklusion, Effizienz, Respekt und Selbstbestimmung. Die Verteilung der Nennungen bietet erste Hinweise darauf, welche Werte von den Stakeholdern als besonders relevant für das zu entwickelnde System erachtet werden. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse, dass es vielen Stakeholdern schwerfällt, ethische Werte von den wirtschaftlichen Werten strikt zu trennen. Effizienz wird beispielsweise in diesem Zusammenhang neben Selbstständigkeit und Inklusion genannt, obwohl Effizienz als wirtschaftliche Zielgröße und nicht als ethischer Wert gilt. Darüber hinaus ergab die Einordnung der Werte nach ethischen Theorien, dass etwa die Hälfte der erhobenen Werte aus der utilitaristischen Perspektive hervorging.

Um die identifizierten Werte für das Projekt anhand ihrer Relevanz zu priorisieren, wurden die 42 ursprünglichen Werte mithilfe einer konzeptionellen Analyse verdichtet und zu 28 Werten zusammengeführt. Hierbei wurden Kriterien wie die Häufigkeit der Nennung, die fachliche Einschätzung des Moderators und die Übereinstimmung mit etablierten ethischen Wertelisten berücksichtigt. Die acht zentralen Kernwerte, die für das Projekt als besonders relevant erachtet wurden, sind Autonomie, Inklusion, Weisheit, Respekt, Ehrlichkeit, Gerechtigkeit, Menschlichkeit und Zuverlässigkeit. Im Folgenden wird beschrieben, wie die schrittweise Übersetzung eines Kernwertes aussehen kann.

3. Übersetzungsprozess am Beispiel des Kernwerts „Autonomie“

Der Kernwert Autonomie stellt einen besonders relevanten Wert für die Stakeholder dar.

Die Übersetzung des Kernwertes in ethische Systemanforderungen erfolgte gemäß der VbE-Methodik in mehreren Schritten. Im ersten Schritt werden die Aussagen aller Stakeholder und des Moderierenden im Rahmen des Workshops zusammengetragen und durch eine konzeptionelle Werteanalyse basierend auf bestehender Literatur erweitert. Dieser Schritt fokussierte sich folglich darauf, den Umfang des Wertes aufzugreifen und im Zusammenhang mit dem System zu betrachten. Dabei sollen bereits konkrete Ideen gesammelt werden, inwiefern sich die Berücksichtigung von Autonomie im Rahmen der Chatbotentwicklung auf bestimmte Personengruppen auswirken kann. Es werden die sog. Wertqualitäten für jeden Kernwert erfasst, die sowohl positive als auch negative Effekte umfassen können. Positive Wertqualitäten beschreiben beispielsweise im Falle von Autonomie die Möglichkeit, mithilfe des

Chatbots selbstständig Informationen erhalten oder Entscheidungen auf Grundlage umfangreicherer Fakten treffen zu können. Potenzielle Risiken, sog. negative Wertqualitäten berücksichtigen hingegen, inwiefern Autonomie im Rahmen der Nutzung behindert werden könnte. Dieser Perspektivenwechsel ermöglicht das Sammeln von möglichen negativen Erfahrungen, für die im anschließenden Schritt entgegenwirkende Maßnahme definiert werden. Zu den beispielhaften negativen Wertqualitäten des Kernwertes Autonomie zählen Überforderung bei Nutzung des Chatbots aufgrund fehlender intuitiver Bedienbarkeit sowie übermäßiger Informationsfluss. Dabei ist es essenziell, dass für jede Wertqualität beschrieben wird, wodurch sich diese zeigt, welche Personen davon berührt werden und inwiefern es den Kernwert fördert oder hindert. Die folgende Tabelle zeigt einen beispielhaften Ausschnitt des Kernwertclusters für „Autonomie“.

Tabelle 1: *Beispielhafter Ausschnitt des Kernwertclusters „Autonomie“.*

Kernwert	Gefördert/ behindert durch	Wertqualität	Beschreibung des Effekts	Stakeholder(s)
Autonomie	gefördert durch	Möglichkeit, sich unabhängig zu informieren	Sinkende Abhängigkeit von anderen Beratungsstellen	Menschen mit Behinderungen
Autonomie	gefördert durch	Möglichkeit, sich unabhängig zu informieren	Entlastung der Beratungsstellen	Beratungsstellen
Autonomie	behindert durch	Informationsflut	Informationsflut kann zu Überforderung führen	Menschen mit Behinderungen

Nachdem die Wertqualitäten eines Wertes umfassend identifiziert wurden, gilt es diese in die ethischen Systemanforderungen zu übersetzen. Für jedes Kernwertcluster werden dazu Ethical Value Requirements (EVRs) formuliert, potenzielle Bedrohungen (Threats) abgeleitet und geeignete Kontrollmaßnahmen (Controls), die die finalen Systemanforderungen darstellen, definiert. EVRs sind Systemmerkmale, die erforderlich sind, um eine positive Wertqualität zu gewährleisten oder eine negative Wertqualität zu verhindern. EVRs umfassen noch keinerlei Implementierungsaspekte, sondern beschreiben lediglich eine Eigenschaft eines Systems. Konkrete Implementierungsaufgaben werden erst bei den Kontrollmaßnahmen formuliert, die im Hinblick auf EVRs und deren potenzielle Bedrohungen konzipiert wurden, um eine erfolgreiche Implementierung der Wertqualität sicherzustellen.

Am Beispiel des Kernwertes Autonomie zeigt sich, welche technische Gestaltung eines Chatbots erforderlich ist, um barrierearme Interaktionen zu unterstützen. So

bedarf es einer einfachen Bedienung, um zu ermöglichen, dass auch MmB sich unabhängig informieren können. Eine realistische Einschätzung zur Bedienbarkeit eines Chatbots für MmB kann allerdings besser durch die Zielgruppe erfolgen, als durch die SoftwareentwicklerInnen. So könnte die Evaluation durch Prüfgruppen bestehend aus der Zielgruppe der MmB beispielsweise als geeignete Maßnahme für die erfolgreiche Umsetzung der ersten Wertqualität identifiziert werden. Somit ließe sich die Bedienbarkeit und der Grad der Barrierefreiheit des Chatbots untersuchen und schlussendlich verbessern. Damit einhergehend sollte der Chatbot mit verschiedenen Unterstützungstools für MmB kompatibel sein. Dazu zählen beispielsweise Screenreader oder zusätzliche Sprach- und Audioausgaben. Die folgende Tabelle zeigt bespielhaft einige identifizierte Bedrohungen und Kontrollmaßnahmen.

Tabelle 2: *Beispielhafte Erweiterung des Clusters „Autonomie“ um die EVRs, dessen Bedrohungen und Kontrollmaßnahmen.*

Kernwert	Wertqualität	EVRs	EVR Bedrohung	EVR Kontrollmaßnahme (Systemanforderung)
Autonomie	Möglichkeit, sich unabhängig zu informieren	Einfache und barrierearme Bedienung sicherstellen	Bedienbar-keit ist zu kompliziert	Meinungen und Feedback mithilfe von Prüfgruppen einholen
Autonomie	Möglichkeit, sich unabhängig zu informieren	Inhalte sind barrierearm zugänglich	Inhalte sind nicht oder nur schwer zugänglich	Kompatibilität mit Screenreadern sowie zusätzlichen Sprach- und Audioausgaben
Autonomie	Informationsflut	Ergebnisse werden knapp und verständlich ausgegeben	Chatbot generiert zu umfang-reichen Output	Umsetzung von UI-Elementen, die eine adaptive Antwortlänge ermöglichen

Die Ergebnisse zeigen, dass Autonomie im Chatbot durch verständliche, leicht zugängliche Inhalte, eine intuitive Nutzung und iterative Evaluationen gewährleistet werden kann. Damit einhergehend ist auch eine adaptive übersichtliche Benutzeroberfläche von großer Bedeutung, damit auch Personen mit unterschiedlichen Beeinträchtigungen den Chatbot bedienen und an ihre Bedürfnisse anpassen können, sodass sie keinerlei Überforderung erfahren. Mit einer solchen Unterstützung der Autonomie der MmB, können diese sich mit Hilfe des Chatbots einen Einblick in für sie relevante Förderleistungen verschaffen und anschließende Beratungstermine bei entsprechenden Beratungsstellen und Leistungserbringern können zielgerichteter erfolgen.

4. Fazit

Die strukturierte Ermittlung ethischer Systemanforderungen mittels VbE-Methodik zeigt, dass sich VbE in der Praxis umsetzen lässt und wertvolle Einblicke in die Implementierung ethischer Aspekte in KI-Systeme liefert. Besonders die umfangreiche Integration unterschiedlicher Stakeholder lässt vermuten, dass so Systemanforderungen differenzierter und kritischer betrachtet werden konnten. Ohne den Einbezug der verschiedenen Stakeholderperspektiven und die VbE-basierte Wertanalyse wäre es fraglich, ob alle Werte in ihrer Komplexität erfasst worden wären. Die VbE-Methodik bietet trotz fehlender kontextabhängiger Anpassungsmöglichkeiten und Schnittstellen zu bestehenden Entwicklungstools (Martin et al. 2026, in Begutachtung) einen systematischen Rahmen für eine tiefere Auseinandersetzung mit Werten sowie möglichen Potenzialen und Risiken eines Systems. Somit liegt nahe, dass VbE die menschenzentrierte Gestaltung von Technologien unterstützt und zu der Entwicklung ethischer Systeme beitragen kann. Für tiefergehende Ergebnisse sollte die VbE-Methodik allerdings in einem umfangreicheren Rahmen mit mehreren Workshops und Stakeholdern praktisch erprobt werden.

5. Literatur

Cath C (2018) Governing artificial intelligence: Ethical, legal and technical opportunities and challenges. Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences 376(2133). https://doi.org/10.1098/rsta.2018.0080.

Gerdes A., Frandsen TF (2023) A systematic review of almost three decades of value sensitive design (VSD): what happened to the technical investigations? Ethics and Information Technology 25(2). doi:10.1007/s10676-023-09700-2.

IEEE (2021) IEEE standard model process for addressing ethical concerns during system design. Piscataway, NJ, USA.

Korenhof P (2023) Value-Sensitive Software Design. In: Data Science for Entrepreneurship (S. 501–520). Cham: Springer International Publishing.

Madl L, Chang C, Innocenti M, Bargu S (2025) Ethical Impact Assessment of Cultured Meat and Seafood. Accessed Dec 18, 2025.https://feasts-innovation.eu/wp-content/uploads/2025/06/D-4.3-Ethical-Impact-Assessment.pdf.

Martin N, Kopp T, Kinkel S (2026, in Begutachtung) Menschenzentrierte Gestaltung von KI-Systemen durch Value-based Engineering? Eine empirische Untersuchung zur Praxistauglichkeit. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft.

Spiekermann, S. (2021) Value-based Engineering: Prinzipien und Motivation für bessere IT-Systeme. Informatik-Spektrum, 44(4): 247–256. doi:10.1007/s00287-021-01378-4.

Spiekermann S (2023) Value-based engineering: A guide to building ethical technology for humanity. doi:10.1515/9783110793383.

Spiekermann S, Winkler T (2020) Value-based engineering for ethics by design. doi:10.48550/ARXIV.2004.13676.

Zou J, Schiebinger L (2018) AI can be sexist and racist—It's time to make it fair. Nature 559(7714): 324–326. https://doi.org/10.1038/d41586-018-05707-8.

Potenziale und Widerstände bei der Implementierung des Digitalen Coach Intelligence: Ergebnisse einer empirischen Studie

Martin KRÖLL, Kristina BUROVA-KEßLER

Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, D-44801 Bochum

Kurzfassung: In diesem Beitrag werden ausgewählte Forschungsergebnisse des EU-Projekts „Digitaler Coach Intelligence“ dargestellt. Der Fokus liegt auf der Weiterentwicklung der Rolle des Digitalen Coaches (DC) bei der Förderung der Implementierung von KI- und IT-Lösungen in KMUs. Zudem liegt ein weiterer Schwerpunkt in der Weiterentwicklung von Lern- und Forschungsfabriken im Hinblick auf den Einsatz von KI-basierten Lern- und Assistenzsystemen. Darauf aufbauend wurde eine empirische Studie mit einer quantitativen und qualitativen Methodik durchgeführt. Das Ziel der Studie war es, Potenziale und Widerstände im Hinblick auf die Implementierung des Aufgabenfelds des DC durch einen eigens konzipierten Fragebogen zu analysieren. Kern des Beitrags stellt die Darstellung der Ergebnisse und die Ableitung von Implikationen für die Praxis dar.

Schlüsselwörter: Digitaler Coach Intelligence, Implementierung KI, Digitale Transformation

1. Ausgangspunkt

Der Beitrag knüpft an die Forschungsergebnisse der EU-Projekte „Digitaler Coach“ und „Digitaler Coach Intelligence“ an, die jeweils über 2½ Jahre gefördert wurden bzw. werden. Die beteiligten Projektpartner kommen aus Frankreich, Ungarn, Bulgarien, Griechenland und Deutschland. Ausgangspunkt ist die digitale Transformation und insbesondere die Nutzung von KI-Lösungen mit ihren Herausforderungen für Unternehmen, Wirtschaft und Gesellschaft (Keicher et al., 2025). In diesem Kontext sind KMUs in Europa herausgefordert, die Möglichkeiten und Grenzen sowie die Risiken von KI-Lösungen für ihr Unternehmen einzuschätzen. Um Unternehmen bei der Nutzung von IT- und KI-Lösungen zu unterstützen, wurde ausgehend von den Vorschlägen aus der betrieblichen Praxis das Aufgabenfeld des DC nicht zuletzt im Rahmen von verschiedenen Projekten entwickelt. Statt vom DC wird in manchen Fällen auch vom Digital Scouts gesprochen (siehe z. B. https://digitalzentrum-lr.de/digital-scouts/; https://digital-scout.net/en/services-en/). An dieser Stelle, können die Fragen aufgeworfen werden: Inwieweit wird sich das Aufgabenfeld des DC etablieren? Unter welchen Bedingungen werden die Aufgaben, die ein DC wahrnimmt bzw. wahrnehmen kann, überhaupt von den Akteuren in der Praxis akzeptiert? Welche Voraussetzungen sind gegebenenfalls zu schaffen, damit sich das Aufgabenfeld des DC nachhaltig etablieren kann? Ausgehend von diesen Fragen, wird die Konzipierung, Entwicklung und Verbreitung des Aufgabenfeldes des DC im vorliegenden Beitrag als eine besondere Form der Innovation interpretiert. Empirische Studien zeigen, dass solche Veränderungsprozesse nicht selten in 60-70 % der Fälle nicht zu den

erwünschten Ergebnissen führen (Kröll, 2020; Pijl, 2024). Die Gründe dafür können vielfältig sein. Vor diesem Hintergrund erweist es sich als vorteilhaft, die Widerstände und Potenziale, die die Etablierung behindern bzw. fördern, herauszuarbeiten und zu gewichten. Ausgehend von diesen Erkenntnissen können dann im nächsten Schritt mögliche Handlungsstrategien erarbeitet werden, um mit den Widerständen umzugehen bzw. die Potenziale aufzugreifen und zu nutzen.

2. Theoretischer Bezugsrahmen

Die digitale Transformation einschließlich derNutzung von KI-Lösungen und die damit einhergehende Einführung von Innovationen stellen verantwortliche Akteure vor die Aufgabe, die daraus resultierenden Veränderungen bezogen auf das Personal, die Organisation und die Technik sowie dessen Zusammenspiel im Sinne des soziotechnischen Ansatz angemessen zu gestalten (Haefner et al., 2021; Hirsch-Kreinsen et al., 2020). Dabei erweist es sich als vorteilhaft, individuelles und organisationales Lernen miteinander zu verknüpfen (Stelmaszczyk, 2016).

In der Innovationsforschung wird zudem darauf hingewiesen, dass das Erkennen einer Krise bzw. Krisensituation häufig grundlegende Voraussetzung dafür ist, dass Innovationsprozesse angestoßen und erfolgreich umgesetzt werden (Weiler, 2022). Wördenweber et al. (2020) argumentieren, dass wahrgenommene Spannungen oder Problemlagen, die aus Sicht der Verantwortlichen Veränderungsbedarf signalisieren, die Bereitschaft für Innovationen erhöhen. Wenn Organisationen Krisen bewusst wahrnehmen und aktiv mit ihnen umgehen, kann dies dazu beitragen, ihre Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern bzw. zu sichern, und die für Innovationen erforderliche Netzwerke zu etablieren und zu stärken (Bath et al., 2023).

Um die Möglichkeiten und Grenzen der DC-Implementierung einzuschätzen, werden dessen Aufgaben als besondere Form der Dienstleistung interpretiert. Deswegen wird auf wissenschaftliche Ansätze, die sich mit der Etablierung von Dienstleistungen und deren Qualitätssicherstellung beschäftigen, Bezug genommen (z. B. Bruhn, 2023). Ein klar definiertes Leistungsangebot sowie ein konsistentes Qualitätsniveau gelten dabei als wesentliche Faktoren dafür, dass sich Dienstleistungen langfristig am Markt durchsetzen können (Bracke & Heß, 2023).

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welche spezifische Rolle der DC im Kontext von Innovationsprozessen übernehmen kann. Dabei wird auf das Promotorenmodell aus der Innovationsforschung angeknüpft (Hauschildt et al., 2023). Demzufolge sei eine Voraussetzung für gelingende Innovationen, dass es Akteure gibt, die die Aufgabe des Macht-, des Fach- und des Prozesspromotors übernehmen. Fehlt eine dieser Funktionen, steigt das Risiko, dass Innovationsvorhaben nicht den gewünschten Erfolg erzielen. Der Prozesspromotor besitzt ein tiefes Verständnis der organisatorischen Strukturen und Abläufe. Er koordiniert die Zusammenarbeit der beteiligten Fachkräfte, fungiert als Vermittler zwischen unterschiedlichen Ebenen oder Organisationseinheiten und trägt wesentlich dazu bei, die Kooperation zwischen Macht- und Fachpromotor zu fördern. Zu seinen Aufgaben gehört es zudem, potenzielle Widerstände im Zusammenhang mit dem Innovationsgeschehen frühzeitig zu identifizieren, professionell damit umzugehen sowie vorhandene Potenziale sichtbar zu machen und zu nutzen (Kröll, 2020). In den nachfolgenden Ausführungen wird von der Annahme ausgegangen, dass der DC innerhalb von Innovationsprozessen, wie z. B. der Implementierung von KI-Lösungen, primär die Funktion des Prozesspromotors übernimmt.

3. Forschungsfragen und methodisches Vorgehen

Der vorliegende Artikel untersucht, unter welchen Voraussetzungen das Aufgabenfeld des DC erfolgreich in Organisationen oder Netzwerken implementiert werden kann. Im Fokus stehen dabei Potenziale und Widerstände sowie deren Umgang (Kröll, 2020). Auf Basis des theoretischen und konzeptionellen Rahmens lassen sich folgende drei Hypothesen formulieren: (1) Wird die digitale Transformation von den verantwortlichen Akteuren in den Organisationen als Krisensituation wahrgenommen, so steigt die Chance, dass das Aufgabenfeld des DC etabliert werden kann. (2) Je klarer und transparenter das Dienstleistungsangebot des DC und je höher die Qualität dieser Dienstleistung eingeschätzt wird, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Implementierung des Aufgabefeldes des DC gelingt. (3) Je eindeutiger es erkennbar ist, dass der DC die Aufgaben eines Prozesspromotors wahrnehmen könnte, um so größer ist die Akzeptanz sowie die Aufgabenstellung des DC.

Zur Ermittlung möglicher Barrieren und förderlicher Faktoren wurde ein Fragebogen entwickelt, der in Workshops mit Projektpartnern und Experten des EU-Projekts entstand. Insgesamt nahmen bisher 38 Personen aus Deutschland (n = 12), Bulgarien (n = 11), Ungarn (n = 9) und Griechenland (n = 6) teil, die im Projekt als DC tätig waren bzw. sind. Vertreter von KMU als Nutzer von Dienstleistungen wurden nicht befragt. Die Teilnehmenden bewerteten zwölf Items zu Widerständen hinsichtlich ihrer Bedeutung (0 = „völlig unwichtig“ bis 5 = „sehr wichtig“) und Veränderbarkeit (0–100 %). Vier weitere Items erfassten Potenziale. Die Auswertung erfolgte mit MS Excel mittels Summen- und Mittelwerten sowie Standardabweichungen.

4. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des Fragebogens dargestellt. Zunächst wird geprüft, inwieweit die als besonders relevant eingeschätzten Widerstände auch als veränderbar gelten. Anschließend werden die als beeinflussbar eingeschätzten Faktoren näher betrachtet. Als Gesamtergebnis wird festgehalten, welche Widerstände als besonders bedeutend erachtet werden (siehe Tabelle 1): Mit den höchsten Mittelwerten und somit der höchsten Bedeutung sind die Items 3 (Unklare Notwendigkeit der Vorschläge), 7 (Dominanz des Tagesgeschäfts) und 12 (Mangelnde Veränderungsbereitschaft). Demgegenüber sind die Items mit den geringsten Durchschnittswerten und damit der niedrigsten Bedeutung: Item 2 (Unklarheit Ansprechpartner), 10 (Schwierigkeiten Sichtbarmachen) und 11 (Schwierigkeiten Erfolgsmessung).

Bezogen auf die Antworten auf die Frage, inwieweit die jeweiligen eingeschätzten Widerstände, als veränderbar eingestuft werden, ergibt sich ein anderes Bild (siehe Tabelle 1): Die Items mit den höchsten Mittelwerten und damit der höchsten Veränderbarkeit sind Item 2 (Unklarheit Ansprechpartner), Item 10 (Schwierigkeiten Sichtbarmachen) und Item 11 (Schwierigkeiten Erfolgsmessung). Im Gegensatz dazu sind die Items mit den niedrigsten Durchschnittswerten und damit der geringsten Veränderbarkeit Item 1 (Bessere Entscheidung durch Führungskraft), Item 4 (Unterstützung bei Investitionen) und Item 8 (Fokus kurzfristige Orientierung).

Tabelle 1: *Veränderbarkeit und Bedeutung der Widerstände bezogen auf allen Ländern.*

	Wichtigkeit				Veränderbarkeit			
Item	N	Mittel-wert	Standardab-weichung	Rang	N	Mittel-wert	Standardab-weichung	Rang
1	38	3,92	5,45	6	38	2,55	4,13	11
2	38	3,39	4,68	11	37	3,78	6,02	1
3	38	4,24	8,23	1	38	2,97	3,94	5
4	37	3,81	5,59	7	37	2,51	2,50	12
5	38	4,05	7,27	4	38	2,89	3,44	6
6	38	3,95	6,24	5	38	2,97	3,50	4
7	38	4,16	7,37	3	37	2,84	5,04	7
8	38	3,67	5,98	9	38	2,74	4,72	10
9	38	3,76	6,19	8	38	2,80	3,27	8
10	38	3,42	4,84	10	37	3,12	4,42	3
11	38	3,26	3,44	12	37	3,38	4,07	2
12	38	4,21	7,80	2	38	2,79	2,88	9

Legende
Item 1: Erfahrene Manager könnten bessere Entscheidungen treffen als der DC
Item 2: Unklarheit hinsichtlich geeigneter Ansprechpartner des DC
Item 3: Vorschläge des DC werden abgelehnt, weil der Bedarf unklar ist
Item 4: Unterstützung bei der Sicherung von Investitionen in die Digitalisierung
Item 5: Das Dienstleistungsangebot des DC ist nicht überzeugend
Item 6: Die Relevanz des Dienstleistungsangebots des DC ist nicht erkennbar
Item 7: Die Dominanz des Tagesgeschäfts verhindert die Umsetzung der Vorschläge des DC
Item 8: Kurzfristige Ausrichtung verhindert langfristige Organisationsentwicklung durch Digitalisierung
Item 9: Dringlichkeit der digitalen Transformation wird nicht erkannt
Item 10: Schwierigkeiten, den Nutzen der Arbeit des DC sichtbar zu machen
Item 11: Messung des Erfolgs der Arbeit des DC ist schwierig
Item 12: Vorschläge des DC werden aufgrund mangelnder Veränderungsbereitschaft abgelehnt

Von den Interviewpartnern wurden darüber hinaus die Potenziale zusätzlich hinsichtlich ihrer Bedeutung und der Nutzungsmöglichkeit bewertet. Item 1 (M = 4,58, Vorschläge des DC führen zu Zeit- und Kosteneinsparungen) wurde mit der höchsten Bedeutung bewertet, gefolgt von Item 3 (M = 4,35, Unterstützung bei der Sicherung von Investitionen im Hinblick auf die Digitalisierung). Item 1 liegt in der Standardabweichung jedoch deutlich höher als Item 3. Den niedrigsten Mittelwert und damit der geringsten Bedeutung hat Item 4 (M = 3,79, Überwindung des Arbeitskräftemangels). Bezüglich der Nutzbarkeit des Potenzials lässt sich folgendes feststellen: Dem Item mit dem höchsten Mittelwert und damit der höchsten Nützlichkeit wird Item 3 (M = 3,54, Unterstützung bei der Sicherung von Investitionen im Hinblick auf die Digitalisierung) zugeordnet, Dem mit dem niedrigsten Mittelwert und damit der geringsten Nützlichkeit dagegen Item 2 (M = 3,50, Der Aufgabenbereich des DC ist interessant und herausfordernd).

5. Diskussion

Die zwölf Items der Widerstandsanalyse lassen sich auf der Grundlage der drei identifizierten Hypothesen theoretisch zuordnen: Auf die Hypothese 1 (Krise als Voraussetzung für Innovation) beziehen sich folgende Items: Item 3, Item 7, Item 8, Item 9, Item 12. Auf Hypothese 2 (Klarheit der Dienstleistung und Dienstleistungsqualität) beziehen sich hingegen folgende Items: Item 4, Item 5, Item 6 und Item 11. Der Hypothese 3 (Umsetzung des Promotor-Ansatzes) können die Items 1, 2 und 10 angesprochen zugeordnet werden.

Auf Basis der Ergebnisse der empirischen Studie zu den größten Widerständen und deren Veränderbarkeit lässt sich zusammenfassend feststellen, dass der zentrale Widerstand in der Ablehnung der Vorschläge des DC liegt, da deren Notwendigkeit für die Organisationsmitglieder möglicherweise unklar ist (Item 3). Gleichzeitig ist

hervorzuheben, dass in allen Ländern dieser Punkt als nur mittelmäßig veränderbar eingeschätzt wurde, sodass die Wahrscheinlichkeit, ihn durch gezielte Maßnahmen vollständig zu überwinden, begrenzt ist. Ein weiterer relevanter Widerstand ergibt sich aus mangelnder Veränderungsbereitschaft innerhalb der Organisation (Item 12), deren Einfluss auf die Umsetzung der DC-Vorschläge ebenfalls als nur schwer beeinflussbar eingeschätzt wurde. Zudem stellt die Dominanz des Tagesgeschäfts (Item 7) eine zentrale Hürde dar, da sie die Umsetzung von Vorschlägen des DC erschwert. Die drei wichtigsten Widerstände (Items 3, 7, 12) lassen sich eng mit dem Konzept von Krisen oder organisationalen Spannungen als Voraussetzung für Innovation verknüpfen (Hypothese 1).

Die Widerstände gegen die Vorschläge des DC, geringe Veränderungsbereitschaft und das vorherrschende Tagesgeschäft können möglicherweise auf fehlende Spannungen in Organisationen bzw. Netzwerken im vorliegenden Fall im Kontext der digitalen Transformation bzw. der Nutzung von KI-Lösungen zurückführen sein. Laut Wördenweber et al. (2020) nehmen Widerstand und Veränderungsbereitschaft meist nur in Krisensituationen zu. Dies stützt die Hypothese, dass die Einführung des Aufgabenfelds des DC auf größeren Widerstand stößt, wenn die gegenwärtige und künftige Situation nicht als Krisensituation interpretiert wird.

Die Ergebnisse lassen sich auch unter dem Aspekt der Veränderbarkeit der Widerstände betrachten. Dabei erweisen sich insbesondere die Unklarheit über geeignete Ansprechpersonen für den DC (Rang 1; Item 2), die Schwierigkeit, den Erfolg des DC zu messen (Rang 2; Item 11) und die geringe Sichtbarkeit der Vorteile seiner Arbeit (Rang 3; Item 10) als gut beeinflussbar. Deren Bedeutung für die erfolgreiche Etablierung des DC wird jedoch als eher gering eingeschätzt.

Bezogen auf die Punkte wie die vom DC durchgeführten Dienstleistungen angeboten werden (Hypothese 2) sowie inwieweit der DC die Aufgabe des Prozessprotomors wahrnehmen kann, ergeben sich bei den entsprechenden Items die niedrigeren Werte. Dies deutet darauf hin, dass diese Widerstände weniger hinderlich sind und die Umsetzung des DC als Prozessförderer grundsätzlich möglich ist. Gleichzeitig zeigt sich, dass der Widerstand gegen die Wahrnehmung der DC-Aufgaben als Dienstleistung vergleichsweise gering ausfällt. Vor diesem Hintergrund könnten sich künftige Aktivitäten primär auf die leicht veränderbaren Faktoren beziehen. Da die entsprechenden Effekte aber eher schwach sind, besteht die Gefahr des Aktionismus.

Das größte Potenzial des DCI liegt in der Präsentation von Vorschlägen zu Zeit- und Kosteneinsparungen (Item 1); deren Nutzbarkeit wird von der Stichprobe zudem als hoch eingeschätzt (Rang 2). Demgegenüber wird die Unterstützung bei der Überwindung des Arbeitskräftemangels (Item 4) als weniger relevant und nützlich bewertet.

6. Limitationen, Implikationen und Ausblick

Die Aussagekraft der vorliegenden empirischen Studie ist begrenzt: so ist die Stichprobengröße gering und die kulturellen Unterschiede zwischen den teilnehmenden Ländern führen dazu, dass die Ergebnisse nicht repräsentativ sind.
Die Ergebnisse der vorliegenden Studie offenbaren Implikationen für weitere empirische Forschung. Sie deuten auf länderspezifische Bewertungsunterschiede hin, die kulturell bedingt sein könnten. Für zukünftige Studien stellt sich zudem die Frage,

auf welche Art und Weise die einzelnen Unternehmenskulturen erfasst und im Prozess der Etablierung des Aufgabenfelds DC Berücksichtigung finden können.

Zudem ergeben sich folgende praktische Implikationen: Für Personen, die die Aufgabe des DC übernehmen wollen, erweist es sich als vorteilhaft, wenn sie ihnen in ersten Gesprächen mit den Verantwortlichen der Unternehmen gelingt, herauszuarbeiten, ob ein gewisser Handlungsdruck vorhanden ist. Liegt dieser nicht vor, dann würde die Schlussfolgerung nahe liegen, nicht aktiv zu werden. Zudem erweist es sich als sinnvoll, wenn diese Personen sich klar werden, welche Dienstleistungen sie konkret anbieten und dies transparent machen. Bei der Konkretisierung der Dienstleistung erweist es sich als Vorteil, wenn sie dabei davon ausgehen, dass sie sich an der Rolle des Prozesspromoters orientieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die empirische Studie gezeigt hat, dass die Vorstellung des Prozesspromotors bei den betroffenen Akteuren auf vergleichswiese große Akzeptanz stößt. Vor diesem Hintergrund wäre zu klären, welche Kompetenzen insbesondere bezogen auf KI-Lösungen erforderlich sind, damit der DC seine Aufgaben professionell wahrnehmen kann, wie entsprechende Qualifizierungsprogramme in methodisch-didaktischer geeigneter Form zu gestalten sind und welche Rolle dabei Lern- und Forschungsfabrik übernehmen können.

7. Literatur

Bath, J., Drost, Y. & Klein, H. (2023). *Guerilla Innovationsmanagement*. Springer.

Bracke, St. & Heß, P. (2023). *Neue Methoden und Trends in der Qualitätswissenschaft*. Springer

Bruhn, M. (2023). *Quality management for services*. Springer

Haefner, N., Wincent, J., Parida, V., & Gassmann, O. (2021). Artificial intelligence and innovation management: A review, framework, and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, *162*, 1-10.

Hauschildt J., Salomo S. & Schultz C. (2023). *Innovationsmanagement* (7.Aufl.). Verlag Vahlen

Hirsch-Kreinsen H, Hompel, M. & Kretschmer, V. (2020). Digitalisierung industrieller Arbeit. In: M. Hompel, T. Bauernhansl, B. Vogel-Heuser (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0* (S.495-512). Springer,

Keicher, L., Spitzley, A., Adrilio, A. & Arnold, M. (2025): Generative künstliche Intelligenz im Innovationsmanagement: Potenziale und Herausforderungen. *Information – Wissenschaft & Praxis, 76*(23), S. 104-112.

Kröll, M. (2020). *Innovationsprojekte und organisationalen Wandel professionell gestalten*. Springer.

Pijl, J. (2024). *Strategie = Umsetzung*. Schäffer-Poeschel,

Stelmaszczyk, M. (2016). Relationship between individual and organizational learning: Mediating role of team learning. *Journal of Economics and Management, 26*(4), S. 107 – 227.

Weiler, T.N. (2022). *Die Bedeutung von Innovation als Krisenbewältigungsstrategie in Eventprojekten während der COVID-19-Pandemie*. Springer,

Wördenweber, B., Eggert, M., Größer, A., & Wickord, W. (2020). *Technologie-und Innovationsmanagement im Unternehmen*. Springer.

Anmerkung: Bei dem vorliegenden Artikel handelt es sich um eine aktualisierte, überarbeite und gekürzte deutsche Fassung folgenden Artikels, der in englischer Sprache erschienen ist: Kröll, M./Burova-Keßler, K. (2023): The role of the Digital Coach in the context of digital transformation In: Nazir, S. et al. (Eds.): Advances in Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences. Springer Nature Switzerland.

Anforderungen an einen menschengerechten sozialen Roboter zur Unterstützung der ambulanten Suchttherapie: Vom dyadischen zum triadischen Setting

Hartmut SCHULZE[1], Stefan ADAM[2], Wim NIEUWENBOOM[3], Alexandra TANNER[4]

[1] Arbeitspsychologische Beratung GmbH, Sonnmattweg 1, CH-4656 Starrkirch-Wil
[2,3] Institut Beratung, Coaching und Sozialmanagement (ICSO)
Hochschule für Soziale Arbeit FHNW, Riggenbachstrasse 16, CH-4600 Olten
[4]Römerweg 7, CH-3013 Bern

Kurzfassung: Im vorliegenden Beitrag werden Ergebnisse eines öffentlich geförderten Schweizer Innovationsprojektes zum Einsatz eines sozialen Roboters in der ambulanten Suchttherapie präsentiert. Im Mittelpunkt stand die Möglichkeit, erste Einsatzmöglichkeiten mit einem sozialen Roboter in ambulanten Therapiesitzungen zu sammeln, die Akzeptanz von Therapeuten und Patienten zu evaluieren und ethische Implikationen abzuleiten. Dies beinhaltete die Bewertung der wahrgenommenen Nützlichkeit, emotionaler Reaktionen und therapeutischer Relevanz der Roboterunterstützung in strukturierten klinischen Settings. Relevante Anwendungsfälle für soziale Roboter z.B. als Therapieunterstützung oder als Companion in der Suchttherapie wurden identifiziert und grundlegende technische, verhaltensbezogene und ethische Anforderungen skizziert.

Schlüsselwörter: Soziale Roboter, Suchttherapie, Therapiekontinuität, Navel, Nützlichkeit, Anforderungen

1. Hintergrund und Zielstellungen

In der Schweiz suchen jährlich rund 50 000 Personen Hilfe; am Stichtag März 2024 befanden sich 20 000 Patient:innen in ambulanter Behandlung (Vorlet & Krizic, 2024). Das Wirkprinzip ambulanter Suchttherapie ist die verlässliche therapeutische Beziehung – doch zwischen wöchentlichen Sitzungen und dem Alltag zu Hause klafft eine Lücke: No-Show-Raten von 40–60 % unterbrechen Prozesse, verlängern Behandlungen und schwächen Ergebnisse mit den Folgen von Rückfällen und Therapieversagen.

Für Patient:innen stellt die Lücke zwischen Therapiesitzungen und dem Alltag zu Hause, die sogenannte «Therapy-to-Home-Lücke» eine ernsthafte Herausforderung dar. Viele erleben nach der Rückkehr nach Hause soziale Isolation und emotionalen Stress im Alltag. Im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung sind Patient:innen in der Suchttherapie zwei- bis dreimal häufiger sozial isoliert. Viele haben keinen stabilen, regelmässigen Kontakt zu unterstützenden sozialen Netzwerken etwa über Arbeit, Ausbildung, eine gesicherte Wohnsituation oder tragfähige Beziehungen. Dadurch fehlen verlässliche Alltagsstrukturen, Zugehörigkeit und Rückhalt. Dies kann die emotionale Stabilität beeinträchtigen und insgesamt zu einem verminderten Wohlbefinden beitragen.

In diesen Momenten der Verletzlichkeit entsteht häufig das Verlangen, Substanzen zu konsumieren und es kommt vermehrt zu schwerwiegenden Rückfällen und Therapieversagen (Witkiewitz et al., 2019).

Therapeut:innen sind ebenfalls direkt von der «Therapy-to-Home-Lücke» Herausforderung betroffen. Die Kontinuität der Therapie ist entscheidend, damit Patient:innen ihre Beziehungsfähigkeit aufbauen können. Diese Kontinuität ist jedoch oft brüchig und gestört. Therapeut:innen müssen wertvolle Zeit darauf verwenden, das Engagement nach Terminversäumnissen wiederherzustellen, anstatt auf stabilen therapeutischen Beziehungen aufzubauen. Diese Unterbrechungen tragen zu erhöhten Rückfallraten bei, die stark mit Therapieversagen korrelieren (Witkiewitz et al., 2019). Die Therapieergebnisse verschlechtern sich, Therapiedauern verlängern sich, und Rückfallraten bleiben hoch. Die Effizienz des gesamten Systems leidet. Mit der Zeit wirken sich diese Bedingungen auch auf Therapeut:innen als Berufspersonen aus: Frustration und Unzufriedenheit steigen, einige reduzieren ihre Arbeitszeit, wechseln in Teilzeit oder in die Privatpraxis. Der Personalwechsel destabilisiert ambulante Dienste weiter.

Um Patient:innen zwischen den Therapiesitzungen eine niederschwellige therapeutische Unterstützung zu bieten, werden zunehmend Blended-Therapieprogramme eingesetzt. Diese Programme vertiefen in der Regel die Inhalte der vorherigen Sitzungen durch Übungen, können aber positive Bindungserfahrungen nicht direkt erzeugen, etwa durch die Aufgabe, eine:n Freund:in anzurufen.

Einen neuen Lösungsansatz bieten soziale Roboter (Adam et al., 2024, Tanner et al. 2024). Sie könnten helfen, die «Therapy-to-Home-Lücke im Sinne einer als “Continuing Care” verstandenen ambulanten Nachsorge (vgl. Vorlet & Krizic, 2024) zu schliessen, indem sie eine konstante, empathische Präsenz bieten. Durch ihre physische Anwesenheit, ihre körperliche Gestalt und interaktive Fähigkeiten könnten sie eine unterstützende Beziehung fördern, die die Bindungserfahrungen zwischen den Sitzungen stärkt und so die Therapieerfolge verbessert. Die therapeutische Bindung wird dabei durch die affektive Bindung an den Roboter gestärkt. Es ist bereits breit abgesichert, dass Menschen in der Lage sind, eine soziale und affektive Beziehung mit Robotern aufzubauen (siehe für eine theoretische Auseinandersetzung Konijn et al., 2025).

Im Rahmen eines von der Schweizerischen Agentur für Innovationsförderung (Innosuisse) geförderten 9-monatigen Pilotprojektes konnten zwei Psychotherapeut:innen und zwei von ihnen betreute Patient:innen den sozialen Roboter Navel der Firma Navelrobotics (https://navelrobotics.com) im Kontext der ambulanten Suchttherapie kennenlernen und erste praktische Erfahrungen sammeln.

Die Fragestellungen lauteten:

- Welche Roboter-Szenarien eignen sich aus der Sicht der beiden befragten Psychotherapeut:innen und Patient:innen, um die ambulanten therapeutischen Nachsorge zwischen den Therapiesitzungen zu Hause zu unterstützen?
- Inwiefern werden diese Roboter-Szenarien von Therapeut:innen und Patient:innen akzeptiert?
- Welche ethischen Herausforderungen stellen sich, und wie können sie adressiert werden?

2. Methodisches Vorgehen

Im Rahmen des explorativ konzipierten Pilotprojektes wurden drei Forschungsaktivitäten durchgeführt, um Einsatzmöglichkeiten, Akzeptanz und ethische Implikationen des sozialen Roboters *Navel* in dem Kontext von «Continuing Care» zu untersuchen:

- **Demonstration auf einer Fachkonferenz**
  Im ersten Schritt wurde der Navel-Roboter im Rahmen einer Fachkonferenz im November 2024 vorgestellt. Die Demonstration umfasste insbesondere die Funktionalitäten im Bereich Small Talk sowie erste Ansätze einer therapeutischen Interaktion. Etwa 20 Fachpersonen aus der ambulanten und stationären Suchttherapie nahmen an dieser Veranstaltung teil. Die Erhebung erfolgte mittels Beobachtungsprotokollen. Diese Aktivität lieferte erste Erkenntnisse zu potenziellen Anwendungsszenarien sowie zur grundsätzlichen Akzeptanz des Roboters.

- **Vor-Ort-Anwendungen mit Therapeut:innen und Patient:innen**
  Im Rahmen von zwei Vor-Ort-Anwendungen wurde Navel in therapienahen Sitzungen eingesetzt. Es handelte sich einerseits um zwei einstündige Sitzungen von zwei Psychotherapeutinnen mit jeweils einer ihrer Patientinnen. Hier standen vor allem das Kennenlernen von Interaktionsmöglichkeiten und Rollen sowie Aufgaben im Mittelpunkt, die der soziale Roboter übernehmen könnte. Zum anderen handelte es sich um zwei 20-minütige Einzelsitzungen, in denen die beiden Patientinnen getrennt voneinander mit dem Roboter nach ihrem Gusto interagieren konnten. Beide nutzten die Gelegenheit, um therapienahe Herausforderungen zu besprechen. Eine der Patientinnen war technologisch affiner, die andere etwas weniger. Beide Sitzungen wurden von einer durch ein zehnminütiges Debriefing ergänzt. Alle Sitzungen wurden per Video aufgezeichnet und vollständig transkribiert. Die Analyse wurde anhand der fokussierten Interviewanalyse (Kuckartz & Rädiker, 2024) und auf Basis des Video- und Transkriptmaterials vorgenommen.

- **Ethik-Review durch Fachexpert:innen**
  Parallel erfolgte eine ethische Bewertung der erarbeiteten Anwendungsszenarien im Rahmen der Vorbereitung eines Innosuisse-Projektantrags. Die Analyse berücksichtigte sowohl Einschätzungen von Expert:innen als auch Rückmeldungen von Patient:innen und Therapeut:innen und zielte auf die Identifikation ethischer Herausforderungen im Umgang mit robotischer Interaktion in sensiblen Kontexten.

3. Ergebnisse

3.1 Einsatzszenarien sozialer Roboter in der ambulanten Nachsorge

In den Nachbesprechungen mit den beiden Psychotherapeutinnen und den Patientinnen zu den vor Ort Erprobungen kristallisierten sich drei Szenarien heraus, die bei allen auf Akzeptanz stießen.

Im ersten Szenario sollte im Rahmen der «Therapieunterstützung» der Roboter als

ergänzendes Werkzeug konzipiert werden, das Patient:innen unterstützt, indem er vorherige Inhalte abruft und individualisierte Reaktionen liefert. Kernfähigkeiten sollten die Erkennung und Regulation von Emotionen sowie eine Balance zwischen Empathie und Konfrontation umfassen. Zudem sollte der Roboter Patient:innen bei der Anwendung therapeutischer Inhalte im Anschluss an Therapiesitzungen unterstützen.

Im zweiten Szenario «Companion» wurde der Roboter als ein Begleiter:in gesehen, der individuelle Bedürfnisse versteht, flexibel auf Situationen reagiert und unaufdringliche Unterstützung im Alltag bietet. Übereinstimmend wurde darin ein Potenzial erkannt, die soziale Unterstützung zu erhöhen, Coping-Strategien zu stärken und Gefühle der Einsamkeit zu reduzieren – Aspekte, die klar mit Rückfallrisiken zusammenhängen.

Im dritten Szenario «Crisis Support», also in Krisensituationen, die das Rückfallrisiko erhöhen, sollte der Roboter eine unterstützende, aber nicht zu aufdringliche Rolle einnehmen, so dass Patient:innen jederzeit die Kontrolle über die Interaktion behalten. In entscheidenden Momenten, etwa bei starkem Verlangen, wurde allerdings auch eine direktivere Reaktion des Roboters gewünscht.

3.2 Akzeptanz für den Einsatz des Navel-Roboters in der ambulanten Nachsorge zu Hause

Der Roboter wurde als nützliche Ergänzung zur Therapie, nicht als Ersatz für menschliche Interaktion, gesehen. Er konnte aus Sicht der beiden Psychotherapeutinnen neue Fragen aufwerfen und «blinde Flecken» aufzeigen. Die beiden Patientinnen schätzten den Roboter, weil er sie an Therapieziele im Alltag erinnern könne und eine Beziehungsdynamik entstehen lasse, obwohl er künstlich sei.

Von seiner Interaktionsweise her wurde der Roboter positiv als bestätigend und lösungsorientiert wahrgenommen. Gleichzeitig wurde ein klares Potenzial für eine stärkere Personalisierung und Anpassung an individuelle Patientenbedürfnisse erkannt. Navel wurde häufiger als zu frage- und lösungsorientiert erlebt, was zu einem wenig fokussierten, «mäandernden» Gesprächsverlauf führte. Die Therapeutinnen wie auch die beiden Patientinnen wünschten sich mehr Empathie, Geduld und Sensibilität in der Interaktion, um eine authentischere und hilfreichere Interaktionserfahrung zu bieten.

Der Roboter sollte es weiterhin Patient:innen ermöglichen, sich auf Therapiesitzungen vorzubereiten, indem er relevante Gesprächsfragmente aufzeichnet und organisiert. Sein Interaktionsstil sollte auf die Situation, den emotionalen Zustand und die Therapiephase von Patient:innen zugeschnitten sein - mit Sensibilität für Pausen, Missverständnisse und kontextuelle Relevanz. Gewünscht wurden Kernfähigkeiten wie z. B. zuverlässige Emotions- und Spracherkennung, angemessenes Timing sowie adaptive Dialogstrategien. Der Roboter sollte therapeutische Ziele wie Motivation und Willenskraft unterstützen, Therapeut:innen Feedback geben und angeleitete Übungen mit nutzerbezogenem Feedback anbieten. Insgesamt wurden Flexibilität, Empathie und Kontextwahrnehmung als zentrale Designprioritäten genannt.

3.3 Ethische Implikationen einer Verwendung sozialer Roboter in der ambulanten Suchttherapie

Der verantwortungsvolle Umgang mit ethischen Bedenken bei therapienahen Anwendungen wie der ambulanten Nachsorge stellt hohe Anforderungen an die Rahmenbedingungen des Einsatzes und die Kompetenzen der beteiligten Akteur:innen. Zentral erschien den beteiligten Psychotherapeutinnen und Patientinnen eine transparente

Kommunikation, die über die spezifische Rolle und die funktionalen Grenzen des Roboters unmissverständlich aufklärt, um von Beginn an realistische Erwartungshaltungen zu schaffen. Eine solche Einführung sollte jedoch nicht abrupt, sondern durch eine stufenweise Integration des Roboters z. B. über erste Interaktionserfahrungen im stationären Umfeld erfolgen. Dies ermöglicht es den Betroffenen, in ihrem eigenen Tempo Vertrauen aufzubauen und sich an die Interaktion zu gewöhnen. Zur Transparenz gehört auch, dass alle Beteiligten sich bewusst sind, dass die Handlungen und Empfehlungen des Roboters durch KI-Modelle generiert werden. Da im therapienahen Nachsorgekontext hochsensible Informationen verarbeitet werden, bildet eine strenge Datengovernance das Rückgrat des Vertrauens. Hierbei ist es unerlässlich, eine informierte Einwilligung einzuholen und den Nutzer:innen die volle Kontrolle über ihre Daten zu garantieren.

Ein zentrales Spannungsfeld ergibt sich in diesem Zusammenhang als Dilemma zwischen dem therapeutischen Nutzen und der Autonomie von Patient:innen. So kann die Einsicht von Fachpersonal wie Psychotherapeut:innen oder Sozialarbeitenden in die Roboter-Interaktionen für den Erfolg der Behandlung wertvoll sein. Gleichzeitig kann das Wissen um dieses „Mitlesen“ den für Roboter typischen „Safe-Space-Effekt“ gefährden. Wenn Patient:innen befürchten, bewertet zu werden, schwindet die unbefangene Offenheit, die den Roboter als wertneutralen Interaktionspartner auszeichnet. Um diesen Konflikt aufzulösen, könnten gestufte Freigabemodelle eingesetzt werden, bei denen mit Zustimmung der/des Patient:in anstatt vollständiger Protokolle lediglich relevante Tendenzen oder aggregierte Fortschrittsberichte an die Therapeut:innen übermittelt werden.

Flankiert werden könnten diese Massnahmen durch die kontinuierliche Aufsicht des Fachpersonals, das die Interaktionen überwacht und sicherstellt, dass der Einsatz stets ethisch verantwortungsvoll bleibt. Abgerundet werden kann dieser Prozess durch eine fortlaufende ethische Überprüfung unter Einbezug von Erfahrungen der verschiedenen Akteure, um die Anwendung stetig verbessern und geltende Standards langfristig optimieren zu können.

4. Diskussion und Empfehlungen

Die Ergebnisse unserer Pilotstudie zeigen, dass eine Interaktion mit sozialen Robotern im Kontext der «Therapy-to-Home-Lücke» von Suchttherapie sowohl sinnvoll als auch durchführbar ist. Sie liefern genauere Hinweise darauf, welche Erwartungen Suchtpatient:innen an den Roboter in Bezug auf ihre spezifischen Bedürfnisse haben. Wir konnten Szenarien mit Potenzial für Akzeptanz und therapeutischen Nutzen identifizieren. Dies rechtfertigt eine umfassendere Untersuchung der Integration sozialer Roboter in die Suchttherapie-Nachsorge im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojekts. Sowohl die beteiligten Patientinnen als auch Therapeutinnen zeigten Interesse an der Nutzung des Roboters als therapienaher Assistent (Szenario 1) und waren offen für einen Einsatz zu Hause (Szenarien 2 & 3). Beide Gruppen konnten potenzielle Vorteile sowie technische Herausforderungen erkennen.

Angesichts der genannten technischen, prozessbezogenen und ethischen Herausforderungen wird deutlich, dass der Einsatz sozialer Roboter in der ambulanten therapeutischen Nachsorgeeine enge und kontinuierliche Überwachung der Auswirkungen auf Patient:innen und die Therapeut:in-Patient:in-Beziehung erfordert. Ethikaspekte – etwa Fragen der Transparenz, der Wahrung der therapeutischen Allianz, des Datenschutzes und der Verantwortungszuschreibung im triadischen Setting (Therapeut:in–

Patient:in–Roboter) – müssen sorgfältig berücksichtigt und laufend evaluiert werden. Basierend auf den Ergebnissen der hier berichteten Pilotstudie sind wir zuversichtlich, dass die Ergebnisse nicht nur den identifizierten Bedürfnissen der Fachkräfte gerecht werden, sondern auch theoretische Perspektiven zum bestehenden Wissen in der Suchttherapie erweitern.

Aus anwendungsorientierter Sicht beurteilen wir die Ergebnisse der Pilotstudie ebenfalls als sehr vielversprechend. Einerseits zeigt sich in Bezug auf den Einsatz des Roboters als therapienaher Assistent die Notwendigkeit, Suchtpatient:innen zeitgemässe, dialogische und individuell anpassbare Unterstützungsoptionen anzubieten. Andererseits ermutigt uns die Pilotstudie, die Implementierung eines «sozialen Roboter-Hilfssystems» in der ambulanten Suchttherapie weiterzuverfolgen. Im Pilotprojekt zeigte sich, dass Therapeut:innen und Patient:innen den Roboter in spezifischen Szenarien, als therapeutische Assistenz, als Roboter zu Hause als Begleiter oder als Unterstützer in kritischen Situationen als hilfreich empfinden. Die Implementierung sozialer Roboter in diesen Szenarien könnte somit die Wirksamkeit steigern, auch über die Therapiephase hinaus in der Nachbetreuung (Aftercare). Diese Erkenntnisse ermöglichen es, die im Projekt identifizierten technischen und ethischen Herausforderungen in einem Folgeprojekt gezielt anzugehen.

Mit der stärkeren Anbindung des Roboters an konkrete therapeutische Prozesse stellt sich jedoch zunehmend auch die Frage nach seiner regulatorischen Einordnung. Wird der Roboter etwa im Sinne eines „Co-Therapeuten“ so eingesetzt, dass er diagnostisch oder prognostisch relevante Informationen verarbeitet, Rückfallrisiken adressiert oder gezielt in therapeutische Entscheidungen und Interventionen eingebunden wird, ist davon auszugehen, dass er als medizinisches Gerät zu klassifizieren wäre. Damit wären weitergehende Anforderungen an Sicherheit, Wirksamkeitsnachweise, Risikomanagement, Qualitäts- und Datenschutzprozesse sowie an die transparente Dokumentation des Einsatzzwecks verbunden. Eine solche Klärung der Medical-Device-Anforderungen ist unabdingbar, sobald der Roboter funktional in die Behandlung eingebettet wird und über eine rein begleitende Rolle hinausgeht.

5. Literatur

Adam, S., Gachnang, P., Leiberg, S., Schulze, H., & Nieuwenboom, J. W. (2024). «Verkörperte KI» – Soziale Roboter in der ambulanten Suchthilfe? *Suchtmagazin*, *50*(2), 30–34.

Konijn, E. A., Preciado Vanegas, D. F., & van Minkelen, P. (2025). Theory of affective bonding: A framework to explain how people may relate to social robots and artificial others. Communication Theory, 35(3), 139–151.

Tanner, A., Bestgen, S., & Schulze, H. (2025). Social robots to improve addiction treatment: Development and assessment of a digital intervention. *Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift Für Angewandte Organisationspsychologie (GIO)*, *56*(1), 5–16.

Vorlet, J., & Krizic, I. (2024). *Bereich ambulante Suchthilfe: Ergebnisse der Teilstatistik act-info-SAMBAD 2023*. Sucht Schweiz.

Witkiewitz, K., Litten, R. Z., & Leggio, L. (2019). Advances in the science and treatment of alcohol use disorder. *Science Advances*, *5* (9).

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt den Psychotherapeutinnen und den Patientinnen, die sich außergewöhnlich engagiert an der Pilotstudie beteiligt haben.

Datengestützte Modellierung des End-of-Life-Managements von Photovoltaiksystemen im Kontext der Kreislaufwirtschaft

Ariana ELZE, Florian HAASE, Mohamed Amin BEN TOURKIA, Jan-Philipp MAI

JPM Silicon GmbH
Friedrich-Seele-Straße 26, D-38122 Braunschweig

Kurzfassung: Der globale Ausbau der Photovoltaik führt in den kommenden Jahrzehnten zu stark steigenden Rückbaumengen von PV-Modulen. Auf Basis modellierter Szenarien wird gezeigt, dass die künftig anfallenden Modulzahlen nur durch einen parallelen Ausbau von Recyclinginfrastruktur und automatisierten Prozessen bewältigt werden können. Die digitale Plattform PV Waste Data Hub dient als Prognoseinstrument zur Abschätzung zukünftiger Demontagemengen und zur Planung von Kapazitäten, Standorten und Qualifikationsanforderungen. Aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive verschiebt sich der Fokus von manuellen Demontagetätigkeiten hin zur Gestaltung skalierbarer, menschengerechter soziotechnischer Arbeitssysteme.

Schlüsselwörter: Photovoltaik, Recycling, Logistikprozesse, Kreislaufwirtschaft, soziotechnische Systeme

1. Einleitung

Die Energiewende führt weltweit zu einem kontinuierlichen und beschleunigten Ausbau der Photovoltaik (PV). Mit zunehmender Marktdurchdringung rückt der Umgang mit ausgedienten PV-Modulen immer stärker in den Fokus wissenschaftlicher, politischer und industrieller Betrachtungen. Während sich Forschung und Praxis lange Zeit auf Installation, Betrieb und Effizienzsteigerung konzentrierten, zeigt sich zunehmend, dass der Rückbau von PV-Anlagen ein eigenständiges industrielles Tätigkeitsfeld darstellt, das bislang nur unzureichend arbeitswissenschaftlich betrachtet wurde.

Die künftig anfallenden Rückbaumengen, von denen in diesem Jahr mehr als 33 Millionen Module erwartet werden, sind durch hohe Stückzahlen, heterogene Modultypen und unterschiedliche Demontagegründe gekennzeichnet. Neben dem technischen Lebensende spielen wirtschaftliche Faktoren, Repowering-Entscheidungen sowie vorzeitige Ausfälle eine zunehmende Rolle. Daraus ergibt sich eine deutliche Verschiebung von punktuellen Demontageprojekten hin zu dauerhaft etablierten Rückbau- und Recyclingprozessen (JPM Silicon 2026).

Diese Entwicklung stellt neue Anforderungen an die Organisation, Planung und Gestaltung von Arbeitssystemen im Bereich des PV-Recyclings. Der vorliegende Beitrag verfolgt das Ziel, die arbeitswissenschaftlichen Implikationen steigender Rückbaumengen systematisch zu analysieren und aufzuzeigen, welche Gestaltungsansätze notwendig sind, um sowohl hohe Durchsatzanforderungen als auch menschengerechte Arbeitsbedingungen langfristig sicherzustellen.

2. Photovoltaikausbau und Rückbau als industrieller Transformationsprozess

Der globale Ausbau der Photovoltaik führt zu einem stetigen und langfristigen Anstieg der Rückbaumengen. Der Rückbau ist dabei nicht als singuläres Ereignis zu verstehen, sondern als kontinuierlicher industrieller Prozess, der über mehrere Jahrzehnte hinweg an Bedeutung gewinnt. In vielen Regionen steht der PV-Rückbau noch am Anfang, wird jedoch perspektivisch ein zentrales Element der energiewirtschaftlichen Wertschöpfungskette darstellen (Weckend et al. 2016).

Mit steigenden Mengen verändern sich die Anforderungen an Logistik, Materialfluss, Flächenbedarf und Prozessstabilität grundlegend. Während Demontagearbeiten bei geringen Stückzahlen projektbezogen organisiert werden können, erfordern hohe Durchsatzraten eine zunehmende Standardisierung, Taktung und Industrialisierung der Prozesse. Insbesondere manuelle Verfahren stoßen hierbei an physische, zeitliche und organisatorische Grenzen (Hirsch-Kreinsen 2016).

Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht ist diese Entwicklung als tiefgreifender Transformationsprozess zu verstehen, in dem sich Tätigkeitsprofile, Qualifikationsanforderungen, Belastungsstrukturen und Verantwortlichkeiten der Beschäftigten grundlegend verändern.

3. Arbeitswissenschaftlicher Bezugsrahmen: Soziotechnische Arbeitssysteme

Mit steigenden Rückbaumengen verschiebt sich der arbeitswissenschaftliche Fokus deutlich von der Gestaltung einzelner Arbeitsplätze hin zur Auslegung leistungsfähiger Arbeitssysteme. Das PV-Recycling ist als soziotechnisches System zu betrachten, in dem technische Anlagen, organisatorische Strukturen und menschliche Arbeit in enger Wechselwirkung stehen.

Zentrale Gestaltungsfragen betreffen die Mensch–Maschine-Aufgabenteilung, die Organisation von Material- und Informationsflüssen sowie die Prävention körperlicher und psychischer Fehlbelastungen durch eine geeignete Systemauslegung. Arbeitswissenschaftliche Gestaltung setzt dabei bereits auf der Ebene der Prozess- und Systemplanung an und beeinflusst Durchsatz, Arbeitsbelastung, Fehleranfälligkeit und Prozessqualität gleichermaßen. Industrielle Praxisbeispiele, etwa bei Solar Materials, zeigen, dass der Einsatz vollautomatisierter Anlagen und robotergestützter Handhabungssysteme insbesondere beim Umgang mit schweren und sperrigen Photovoltaikmodulen zu einer deutlichen Arbeitserleichterung beitragen kann, indem manuelle Hebe- und Tragetätigkeiten reduziert und ergonomisch ungünstige Belastungen minimiert werden (Solar Materials 2024).

Besondere Bedeutung kommt der Frage zu, wie Automatisierung so gestaltet werden kann, dass sie nicht nur Produktivität steigert, sondern gleichzeitig zur Entlastung der Beschäftigten beiträgt und neue Formen der Überforderung, etwa durch erhöhte Überwachungsanforderungen oder Zeitdruck, vermeidet (ABB 2025; Waters 2021).

3.1 Gestaltung von Demontage-, Transport- und Recyclingprozessen

Bei geringen Stückzahlen können Demontagearbeiten überwiegend manuell durchgeführt werden. Mit zunehmenden Mengen steigen jedoch Belastungen durch repetitive Tätigkeiten, ungünstige Körperhaltungen, manuelle Lastenhandhabung sowie zeitliche Verdichtung von Arbeitsabläufen. Diese Faktoren wirken sich langfristig

negativ auf Gesundheit, Arbeitsfähigkeit und Produktivität der Beschäftigten aus. Teil- und vollautomatisierte Prozesse bieten die Möglichkeit, körperlich belastende Tätigkeiten gezielt zu reduzieren und gleichzeitig konstante Durchsatzraten sicherzustellen. Arbeitswissenschaftlich relevant ist hierbei die Gestaltung klarer Schnittstellen zwischen Mensch und Technik sowie die Definition von Überwachungs-, Steuerungs- und Eingriffstätigkeiten (Waters 2021).

Ein typisches Glas-Folie-Solarmodul, das derzeit den größten Anteil der zu recycelnden Module ausmacht, besteht aus einer Frontglasscheibe, eingebetteten Silizium-Solarzellen, Einbettfolien, einer rückseitigen Kunststofffolie, einem umlaufenden Aluminiumrahmen und einer Anschlussdose (European Commission 2023; IEA-PVPS 2024).

Der Recyclingprozess beginnt mit der Annahme und Vorsortierung der Module. In einem ersten Schritt werden äußere Bauteile wie Aluminiumrahmen und Anschlussdosen entfernt, um sortenreine Materialströme zu erzeugen und die nachfolgenden Prozessschritte zu entlasten. Anschließend erfolgt die mechanische Aufbereitung der verbleibenden Modulverbunde, bei der insbesondere das Frontglas abgetrennt und als eigenständige Glasfraktion zurückgewonnen wird. Eine möglichst saubere Abtrennung des Frontglases ist dabei von zentraler Bedeutung, da es sich um qualitativ hochwertiges Solarglas handelt, das bei geringer Verunreinigung einer hochwertigen stofflichen Verwertung zugeführt werden kann. Eine frühzeitige Zerkleinerung oder Schredderung der Module führt hingegen zu einer Vermischung der Glasfraktion mit Folien- und Zellresten, wodurch die Materialqualität deutlich herabgesetzt und eine Nutzung in anspruchsvollen Anwendungen erheblich eingeschränkt wird (Solar Materials 2024).

In den darauffolgenden Prozessschritten werden die verbleibenden Verbundmaterialien weiter separiert. Durch eine Kombination aus mechanischen und thermischen Verfahren werden die organischen Bestandteile der Einbettfolien gelöst, sodass die enthaltenen Wertstoffe wie Silizium, das mittlerweile als kritischer Rohstoff eingestuft ist, sowie Edelmetalle, die einen wesentlichen wirtschaftlichen Treiber des Recyclings darstellen, gezielt freigelegt und zurückgewonnen werden können. Ziel des Prozesses ist eine möglichst hochwertige und sortenreine Rückgewinnung der einzelnen Materialfraktionen, um eine effiziente stoffliche Verwertung im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen und den Einsatz von Primärrohstoffen nachhaltig zu reduzieren (Solar Materials 2024).

Diese Prozessschritte sind zwingend in die Auslegung und Optimierung der Transport- und Logistikprozesse einzubeziehen. Beispielsweise kann die Trennung der Aluminiumrahmen an dezentralen Standorten erfolgen, während die verbleibenden Laminate gebündelt zu zentralen Recyclingzentren transportiert werden. Derzeit ist eine solche mobile Rahmentrennung jedoch rechtlich nicht zulässig, wodurch die Umsetzung dezentraler Vorbehandlungsansätze durch bestehende regulatorische Vorgaben eingeschränkt wird. Die rechtlichen Rahmenbedingungen stellen somit eine wesentliche Herausforderung für die flexible Gestaltung vorgelagerter logistischer Prozesse dar. Durch eine vorgelagerte Trennung der Modulkomponenten lässt sich das Transportvolumen sowie der Anteil nicht weiter zu behandelnder Materialien reduzieren, was zu einer effizienteren Auslastung der Transportkapazitäten, einer Verringerung logistischer Aufwände und einer insgesamt verbesserten Prozesseffizienz führt (IEA-PVPS 2024).

3.2 Planbarkeit und Standortentwicklung

Ein zentrales Merkmal steigender Rückbaumengen ist ihre ausgeprägte zeitliche und regionale Dynamik. Die anfallenden Rückbauvolumina sind nicht gleichmäßig verteilt, sondern orientieren sich an historischen Installationsmustern sowie an regionalen politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Vor diesem Hintergrund sind regionsspezifische Datengrundlagen, wie sie beispielsweise im PV Waste Data Hub bereitgestellt werden, essenziell für belastbare Prognosen zukünftiger Rückbaumengen und für die bedarfsgerechte Auslegung von Sammel-, Transport- und Recyclinginfrastrukturen (JPM Silicon 2026).

Die im PV Waste Data Hub ausgewiesenen Rückbaumengen basieren auf einem Demontagemodell, das primär auf historischen Installationsdaten sowie auf standortspezifischen Annahmen zur Lebensdauer von Solarmodulen aufbaut. Dabei wird explizit zwischen dezentralen Installationen, insbesondere privaten Dachanlagen, und Utility-Installationen im kommerziellen, industriellen und großskaligen Bereich unterschieden. Die zugrunde gelegte Lebensdauer ist dabei nicht ausschließlich technisch determiniert, sondern wird in erheblichem Maße auch durch wirtschaftliche Faktoren beeinflusst, etwa durch veränderte Marktbedingungen, sinkende Modulpreise oder Repowering-Entscheidungen. Diese Differenzierung ermöglicht eine präzisere Abschätzung der modulspezifischen Lebensdauern und der daraus resultierenden Rückbauzeitpunkte (JPM Silicon 2026).

Darüber hinaus wird im Demontagemodell der Einfluss klimatischer Bedingungen auf die Alterung von Solarmodulen berücksichtigt. Regionalspezifische Degradationsraten werden in die Modellierung integriert, um klimabedingte Unterschiede in der Leistungsabnahme und Lebensdauer der Module abzubilden. Auf diese Weise lassen sich Rückbaumengen nicht nur zeitlich, sondern auch räumlich differenziert prognostizieren (JPM Silicon 2026).

Aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive gewinnt in diesem Zusammenhang insbesondere die Planbarkeit von Arbeitssystemen an Bedeutung. Verlässliche Prognosen ermöglichen eine frühzeitige Dimensionierung von Standorten, Anlagenkapazitäten und Personalressourcen und bilden damit die Grundlage für eine strukturierte und robuste Prozessgestaltung.

Eine derart vorausschauende Planung trägt dazu bei, Belastungsspitzen zu vermeiden, Arbeitsverdichtung zu reduzieren und langfristig stabile sowie menschengerechte Arbeitsbedingungen zu schaffen.

4. Ergebnisse: Arbeitswissenschaftliche Implikationen steigender Rückbaumengen

Die Modellrechnungen zeigen, dass die weltweit anfallenden Rückbaumengen in den kommenden Jahren deutlich zunehmen und in den meisten Ländern bis 2050 weiter stark anwachsen werden (Siehe Abbildung 1). Bereits mittelfristig ist mit einem Übergang von projektbezogenen Demontagearbeiten hin zu kontinuierlichen industriellen Prozessen zu rechnen (JPM Silicon 2026).

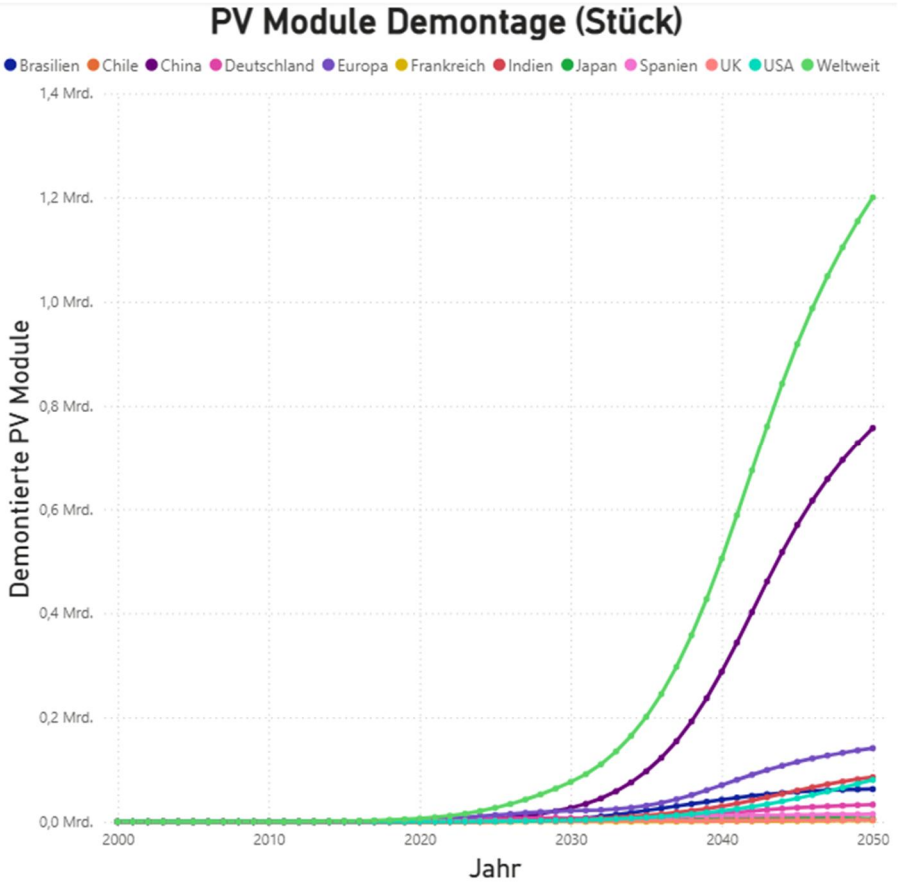


***Abbildung 1**: Prognose der demontierten Solar Module 2000 bis 2050 (JPM Silicon 2026).*

Für die Arbeitsgestaltung bedeutet dies eine zunehmende Entkopplung von körperlicher Belastung und Prozessdurchsatz. Automatisierung ermöglicht es, hohe Mengen zu bewältigen, ohne die Belastung der Beschäftigten proportional zu erhöhen.

Gleichzeitig verändern sich die Anforderungen an Organisation, Qualifikation, Arbeitszeitgestaltung und Prozesssteuerung, was eine ganzheitliche arbeitswissenschaftliche Betrachtung erforderlich macht.

5. Diskussion: Arbeitswissenschaftliche Bewertung

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass eine rein manuelle Gestaltung des PV-Recyclings langfristig weder ergonomisch noch organisatorisch tragfähig ist. Ohne geeignete Automatisierungsstrategien besteht die Gefahr von Arbeitsverdichtung, Zeitdruck und erhöhten Fehlbelastungen.

Digitale Prognoseinstrumente wie der PV Waste Data Hub ermöglichen eine präventive Arbeitsgestaltung, indem sie Planbarkeit schaffen und eine frühzeitige Dimensionierung von Kapazitäten, Standorten und Qualifikationsprofilen unterstützen.

Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht liegt die zentrale Herausforderung darin, Automatisierung so zu gestalten, dass sie als Entlastung wirkt und gleichzeitig stabile, transparente und sichere Arbeitssysteme ermöglicht (Waters 2021).

6. Schlussfolgerung und Ausblick

Der Rückbau von PV-Modulen entwickelt sich zu einem zentralen Tätigkeitsfeld der Kreislaufwirtschaft. Die prognostizierten Mengen machen deutlich, dass ein Ausbau von Recyclinginfrastruktur und Automatisierung unvermeidlich ist.

Arbeitswissenschaftlich fundierte Planung und datenbasierte Prognosen bieten die Möglichkeit, diese Transformation aktiv zu gestalten und sichere, effiziente sowie menschengerechte Arbeitssysteme langfristig zu etablieren.

7. Literatur

ABB (2025) Beyond renewable: ABB & Solar Materials drive circularity in solar energy. Online-Ressource.

European Commission (2023) Critical raw materials – Fifth list 2023 of critical raw materials for the EU. Online-Ressource.

Hirsch-Kreinsen H (2016) Digitization of industrial work: development paths and prospects. Journal for Labour Market Research 49:1–14.

IEA-PVPS (2024) Advances in Photovoltaic Module Recycling. IEA-PVPS Task 12 Report T12-28:2024.

JPM Silicon (2026) PV Waste Data Hub: Datenplattform für Installation, Rückbau und Recycling von PV-Modulen. Online-Ressource.

Solar Materials GmbH (2024) Recycling von Solarmodulen – Technologie und Prozessbeschreibung. Online-Ressource.

Waters TR (2021) Applications manual for the revised NIOSH lifting equation. CDC/NIOSH, Cincinnati, OH.

Weckend S, Wade A, Heath G (2016) End-of-life management: Solar photovoltaic panels. International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi.

Wie beeinflussen verschiedene Formen KI-integrierender Technologien die Mensch-KI Beziehungsgestaltung? Eine systematische Literaturzusammenschau zu den Merkmalen Vertrauen, Emotionale Bindung und Soziale Präsenz

Michelle GEWALT, Bernd-Friedrich VOIGT

Professur für Arbeits- & Ingenieurpsychologie
Fachbereich Ingenieur- & Wirtschaftswissenschaften, Fachhochschule Südwestfalen
Lindenstraße 53, D-59872 Meschede

Kurzfassung: Dieses PICOC Literature Review systematisiert die empirische HCI-Forschung zu Mensch-KI-Beziehungen und vergleicht drei Merkmale: Vertrauen, Soziale Präsenz, Emotionale Bindung. Untersucht wurde, ob sich Befunde je nach KI-Form (Chatbot, Virtuelle Assistenz, Robotik) unterscheiden. Die Literatur fokussiert insgesamt stark auf Mensch-Chatbot-Beziehungen; Mensch-Roboter-Forschung erlebt teils ein Comeback. Vertrauen ist in den KI-Formen relativ gleichmäßig erforscht. Bei Robotik zeigt sich eine Forschungslücke zur emotionalen Bindung; bei Chatbots/Assistenten ist soziale Präsenz wenig untersucht. Heterogene Designs (u. a. Wizard-of-Oz, kleine Stichproben, kurze Interaktionen) begrenzen Vergleichbarkeit und Generalisierbarkeit.

Schlüsselwörter: Chatbot, Virtuelle Assistenz, Robotik, Vertrauen, Soziale Präsenz, Emotionale Bindung

1. Einleitung

In der Human Computer Interaction (HCI) Forschung werden technologische Formen des Einsatzes von Künstlicher Intelligenz (KI) voneinander abgegrenzt. Insbesondere Chatbots, Virtuelle Assistenten und KI integrierende Robotik werden fokussiert (u. a. Akalin et al 2022; Xie et al. 2023; Chen et al. 2024). Gleichzeitig integriert die HCI Forschung psychologische Variablensysteme zur Erklärung von Mensch-Technik Interaktionen. Aus der sozialpsychologischen Beziehungsforschung finden vor allem die Merkmale Vertrauen (u. a. Brandtzaeg et al. 2022), Soziale Präsenz (u. a. Christafokares et al. 2021) und Emotionale Bindung (u. a. Marriott & Pitardi, 2023) Berücksichtigung. Unsere Auswertung zum Stand der HCI Literatur verfolgt die Fragestellung, inwiefern sich Erkenntnisse zum Mensch-KI Beziehungsaufbau hinsichtlich der Beziehungsmerkmale (Vertrauen, Soziale Präsenz & Emotionale Bindung) bezogen auf die Form der KI (Chatbot, Virtuelle Assistenz, Robotik) unterscheiden.

2. Definitorischer Hintergrund

2.1 Merkmale von Mensch-Mensch Beziehungen

Mensch-Mensch Beziehungen sind so definiert, dass Personen sich gegenseitig beeinflussen und in ihren Gedanken, Verhaltensweisen und Gefühlen voneinander abhängig sind. Beziehungen können je nach Hierarchie, Kontext und Intensität anders sein, Beispiele dafür sind Eltern, Freunde und Arbeitskollegen (Ullrich et al. 2023; Werth et al. 2019). Kernaspekte zwischenmenschlicher Beziehungen sind Vertrauen, Bindung und das Bedürfnis nach Zugehörigkeit und Nähe. Vertrauen wird definiert als Beziehungsqualität durch die positive Zukunftserwartung, sich selbst und sein Schicksal in die Hände anderer zu übergeben, mit dem Wissen, dass diese Person einem selbst schaden könnte (Schlenker et al, 1973). Vertrauen entsteht unter anderem durch häufiges Zusammentreffen, dies kann auch zufällig geschehen (Petermann 2012). Bindung und Zugehörigkeit sind für Menschen essentiell zur Befriedigung sozialer Motive, Stressreduktion, Komfort, Verständnis, Nähe und Reliabilität. Die Erfüllung dieser Bedürfnisse dient der Beruhigung des Nervensystems und ist von intrinsischer Motivation getrieben (vgl. u. a. Baumeister 1995; Bowlby 1979).

2.2 Theorien der Mensch-KI Beziehungen

Es gibt in der HCI Forschung etablierte Theoriefamilien, welche davon ausgehen, dass in Anlehnung an die Wirkweisen einer Mensch-Mensch Beziehung auch Mensch-KI Beziehungen möglich und natürlich sein können. Die Computer als sozialer Akteur (CASA) Theorie konstatiert beispielsweise, dass Computer von Bedienern als soziale Akteure wahrgenommen und behandelt werden. Obwohl es Menschen bewusst ist, dass es sich um eine Maschineninteraktion handelt, wenden sie soziale Regeln und Normen in der Interaktion an. Dies wird damit erklärt, dass der Mensch ein soziales Wesen besitzt und es für das Gehirn einfacher ist, soziale Normen anzuwenden, anstelle die Präsenz des Computers zu hinterfragen (vgl. u. a. Huang & Lin 2011).

Eine weitere Theoriefamilie wird aus dem Anthropomorphismus-Konstrukt gespeist. Dabei werden menschliche Erscheinungsmerkmale und Attributionen auf Tiere, Objekte oder Phänomene übertragen. Die sozialpsychologische Erklärung liegt darin, dass Menschen Gegenständen einen interaktionsbezogenen Sinn verleihen, ihnen Absichten und Fähigkeiten auftragen, um darauf aufbauend eine Grundform der bindungsbedingten Interaktion zu erfahren (vgl. u. a. Christofokares et al. 2021).

2.3 Formen von Künstlicher Intelligenz in Anwendungskontext

Künstliche Intelligenz bezeichnet im allgemeinen Systeme, welche darauf aufgebaut sind, definierten Output zu liefern und Vorhersagen, Empfehlungen und Ratschläge zu liefern (u. a. Samoili et al. 2021). Chatbots simulieren menschliche Gespräche und kommunizieren entweder in Textnachrichten oder über Sprachsysteme. Virtuelle Assistenten sind Technologien, welche automatisiert kommunizieren und Anweisungen befolgen (u. a. Cheng et al. 2022). Bei Robotern handelt es sich um autonome Geräte, welche in Kombination mit KI auch fähig sein können, menschliche Kommunikation zu verstehen wiederzugeben und nonverbal zu kommunizieren. Unterschieden wird zwischen Sozialen-, Service- und Industrie-

Robotern, welche entweder mit dem Menschen gemeinsam oder neben dem Menschen her agieren (u. a. De Graaf et al. 2022).

3. Methode

Die vorliegende Studie zu differenzierten Effekten des Mensch-KI Beziehungsaufbaus je nach Form der KI im Anwendungskontext systematisiert den gegenwärtigen Stand der Forschung auf der Basis eines systematischen Literature Reviews, das mit der PICOC Methode (Carreira-Ruera et al. 2022) erschlossen wurde. Die Intervention ist in diesem Fall die Mensch-KI Beziehung, der Output ist die Beziehungsbildung zwischen Mensch und KI und der Kontext ist der Bezug zur Form der KI differenziert nach den Merkmalen Vertrauen, Soziale Präsenz und Emotionale Bindung. Es wurden ausschließlich Forschungsartikel verwendet, die eine empirische, möglichst experimentelle Methode beinhalten.

4. Ergebnisse

Entsprechend der unterschiedlichen Formen von KI-Anwendungskontexten können jeweils akzentuierte Schwerpunkte zum aktuellen Stand der Forschung festgestellt werden (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: *Zusammenstellung der Literaturanalyse differenziert nach Form der KI-Anwendung und Beziehungsmerkmal.*

	Chatbots	**Virtuelle Assistenten**	**Roboter**
Vertrauen	◦ Soziale Präsenz & Vertrauen stehen in Verbindung zueinander (R. De Cicco et al., 2020). ◦ Menschen weisen bei Chatbots das höchste Vertrauen auf, sie können sich selbst öffnen, tiefe Gendaken teilen und verletzlich sein, ohne Angst vor Verurteilung. -> emotionale Unterstützung (P. B. Brandtzaeg at al., 2020; T. Xie et al., 2023; R. De Cicco et al., 2020) ◦ Chatbots sind jederzeit verfügbar, Antworten werden in sekundenschnelle erhalten (X. Cheng et al., 2022). ◦ Je öfter Personen mit Chatbots interagieren, desto mehr Vertrauen bauen sie auf (T. Xie et al., 2023). ◦ Vertrauensverlust entsteht durch technische Probleme, Unzuverlässigkeit, einseitige Konversationen (A. M. Canoningo, 2024). **-> Vertrauen zu Chatbots entwickelt sich auf emotionaler Ebene, jede Beziehung ist individuell & geschieht durch die Objektivität und wahrgenommene Überlegenheit**	◦ Vertrauen liegt im Kern in der Zusammenarbeit auf der emotionalen Ebene (S. M. Qin et al., 2023; J. Hohenstein & M. Jung, 2020). ◦ Virtuellen Assistenten wird in Arbeitsteams vertraut & in der Entscheidungsfindung (S. M. Qin et al., 2023; C. Textor et al., 2022). ◦ Virtuelle Assistenten werden als fairer, kompetenter und dem Menschen übergeordnet wahrgenommen (S.M. Qin et al., 2023). ◦ Vertrauensverluste entstehen durch unethisches Handeln & fehlende Verhaltensänderung nach Fehlverhalten (C. Textor et al., 2022). **-> Vertrauen zu Virtuellen Assistenten entsteht durch eine wahrgenommene Kompetenz und Objektivität, welche dem Menschen übergeordnet ist**	◦ Vertrauen in Roboter ist erhöht, wenn die menschlichen Erwartungen erfüllt werden, bspw. der Roboter sich menschlich verhält, mit dem Menschen kommuniziert und als intelligent wahrgenommen wird (C. Moro et al., 2018; N. Akalin et al., 2021; Y. Yuan et al., 2024; B. Tay et al., 2014). ◦ Das Verhalten des Roboters muss vorhersagbar sein, damit der Mensch sich sicher fühlt und diesem vertraut (P. Fratczak et al., 2021). **-> Vertrauen in die Kompetenz und in die physische Sicherheit**
Soziale Präsenz	◦ Ein Gefühl der Sozialen Präsenz ist abhängig von der Intensität der Interaktionen & dem Gefühl der Verbundenheit. Je öfter die Interaktion stattfindet, desto wahrscheinlicher entsteht eine Verbundenheit (R. De Cicco et al., 2020; L. Christafokares et al., 2021). ◦ Chatbots geben ihren Nutzer*innen emotionale Unterstützung. Daraus resultiert das Gefühl der Nähe und Präsenz (L. Christafokares et al., 2021). **-> Soziale Präsenz durch emotionale Nähe**	◦ Soziale Präsenz wird wahrgenommen durch die Annahme einer Intelligenz (C. Chen et al., 2024). ◦ Vergleichsweise geringe Wahrnehmung der Präsenz verglichen mit Robotern (J. A. Sasser et al., 2024). **-> Kompetenz & Objektivität im Vordergrund**	◦ Präsenz & Intelligenz bei Robotern mehr wahrnehmbar als bei Virtuellen Assistenten (J. A. Sasser et al., 2024). ◦ Menschen verwenden in der Interaktion mit sozialen Robotern vermehrt Gestik und Mimik (S. Shahid et al., 2024; C. Moro et al., 2018; S. M. Anzalone et al., 2015). ◦ Menschen haben beim Spielen mit Robotern mehr Spaß & kommunizieren mehr, als wenn sie allein spielen (S. Shahid et al., 2024). ◦ Kommunikation sowie Gestik & Mimik in der Mensch-Mensch Interkation weiterhin am höchsten (S. Shahid et al., 2024). **-> verglichen mit allen Formen wird bei Robotern die höchste Soziale Präsenz wahrgenommen, durch den vermehrten Einsatz von Gestik & Mimik und Sprache**
Emotionale Bindung	◦ User geben vermehrt an, eine Beziehung bzw. Verbindung zu ihrem Chatbot zu besitzen (S. Pan & Y. Mou, 2024; H. R. Marriott & V. Pitardi, 2023). ◦ Chatbots werden als menschlich & authentisch wahrgenommen (I. Pentina et al., 2022). ◦ Je emotional intensiver & häufiger die Interaktion, desto stärker entwickelt sich die Bindung (E. A. J. Croes & M. L. Antheunis, 2021). ◦ Personifizierte Gespräche & eine angemessene emotionale Unterstützung führen zu einem Gefühl der Verbundenheit & lassen die Nutzer*innen sich weniger einsam fühlen (-> Bedürfnisbefriedigung) (I. Pentina et al., 2022; T. Xie et al., 2023). ◦ Bindungsfördernde Faktoren: Einsamkeit, personifizierte Gespräche, Vertrauen zur Selbstoffenbarung, Unabhängigkeit der Beziehungsform (H. R. Marriott, V. Pitardi, 2023). ◦ Nicht jeder Nutzer nimmt eine Bindung wahr (-> Wahrnehmung des Chatbots als unauthentisch & einseitig) (E. A. J. Croes & M. L. Antheunis, 2021). **-> Bindung entsteht durch Freiwilligkeit & Bedürfnisbefriedigung, besonders effektreich bei einsamen Menschen**	◦ Bindung entsteht, sobald sich Virtuelle Assistenten selbst offenbaren & intellektuelle Erfahrungen geteilt werden (S. Zhang et al., 2024). ◦ Gemeinsame Zeit fördert Bindung (J. Gurreiro, S. M. Correia Loureiro, 2023). ◦ Menschen können Vorurteile durch Virtuelle Assistenten übernehmen und, sie lassen sich durch die KI beeinflussen (-> Gefühl der Überlegenheit) (M. Glickman & T. Sharot, 2024). **-> Bindung durch das Gefühl, dass der Virtuelle Assistent kompetenter ist als der Mensch selbst**	◦ Ein Gefühl der Verbundheit wird wahrgenommen, jedoch sehr schwach **-> Verbundenheit hängt von einer klaren Rollenverteilung, der Nützlichkeit & der wahrgenommenen Intelligenz des Roboters ab** (M. De Graaf et al., 2014)

Allein das Beziehungsmerkmal Vertrauen ist bei allen drei analysierten Formen in den Forschungsberichten annähernd gleichmäßig repräsentiert. Hinsichtlich der Merkmale Soziale Präsenz und Emotionale Bindung stellen wir ein Ungleichgewicht fest: Im Bereich der Mensch-Roboter Beziehungsforschung kann eine Forschungs-

lücke hinsichtlich des Beziehungsmerkmals Emotionale Bindung konstatiert werden. Bei Studien zu Mensch- Chatbot/Virtueller Assistenz Beziehungen ist das Merkmal Soziale Präsenz noch vergleichsweise wenig erforscht. Unsere Auswertungen zeigen außerdem, dass der Fokus der Mensch-KI Forschung aktuell vor allem auf der Mensch-Chatbot Beziehung liegt. Die entsprechende Literatur stammt vermehrt aus dem asiatischen Raum. Forschungsartikel über die Mensch-Roboter Beziehung entweder aus dem letzten Jahrzehnt sind oder aus dem Jahr 2024. Insofern erfährt die beziehungsbezogene Mensch-Roboter Forschung ein Comeback.

Ergänzend stellen wir fest, dass viele der Studien mit der Wizard of Oz Methode, subjektiven Einschätzungen oder einer vergleichsweise geringen Teilnehmeranzahl durchgeführt wurden. Der aktuelle Stand der Forschung muss aufgrund dieser forschungsmethodischen Spezifik stark kontextualisiert interpretiert werden.

5. Diskussion

Die vorliegende Auswertung zum Stand der HCI Literatur verfolgt die Fragestellung, inwiefern sich Erkenntnisse zum Mensch-KI Beziehungsaufbau hinsichtlich ausgesuchter Beziehungsmerkmale bezogen auf die Form der KI-Anwendung unterscheiden. Während der theoretische Hintergrund der meisten ausgewerteten Studien auf die einschlägigen Grundmodelle CASA und Anthropomorphismus rekurriert, unterscheiden sich die Studien hinsichtlich der Forschungsdesigns/-methoden, der Interaktionszeiten sowie hinsichtlich der untersuchten Beziehungsmerkmale. Erkenntnisse zum Mensch-KI Beziehungsaufbau lassen sich daher weder ohne Weiteres verallgemeinern, noch hinsichtlich der Form der KI-Anwendung vergleichen.

Alle ausgewerteten Studien implizieren, dass Menschen der KI Intelligenz zuschreiben, jedoch, ohne diesen Effekt auf die Beziehungswahrnehmung explizit zu überprüfen. In den zusammengetragenen Studien wurden negative Auswirkungen der Mensch-KI Beziehung vernachlässigt. Methodenkritisch ist zudem insgesamt festzustellen, dass die Probandenzahlen in den experimentellen Studien gering sind und, dass die Interaktionsanalysen vor allem kurzfristige Effekte abbilden konnten. Nicht in jeder Studie ist davon auszugehen, dass die Probanden tatsächlich mit KIs interagiert haben. In einigen Fällen handelt es sich entweder um Wizard of Oz Settings oder um empirische Befragungen, welche die Mensch-KI Beziehung nur basierend auf der Vorstellung einer KI-Interaktion thematisieren.

Die Breite der Ansätze und Methodiken stellt jedoch auch eine Stärke des Forschungsfelder dar, da bereits diverse Anwendungskontexte und Wirkmechanismen abgebildet werden konnten. Die zukünftige HCI Forschung zum Mensch-KI Beziehungsaufbau kann darauf aufbauend die entstandenen Forschungslücken aufgreifen und unter Berücksichtigung neuerer KI Entwicklungen (z. B. Speech-to-Text Transformation oder Reasoning Fähigkeiten von LLMs), erweiterter Forschungsdesigns (z. B. Längsschnittstudien) und ergänzender Erhebungsmethoden (z. B. biopsychischen Variablen) zu differenzierteren Aussagesystemen kommen.

6. Literatur

Akalin, N., Kristoffersson, A. & Loutfi, A. (2021). Do you feel safe with your robot? Factors influencing perceived safety in human-robot interaction based on subjective and objective measures. International Journal Of Human-Computer Studies, 158, 102744. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2021.102744

Anzalone, S. M., Boucenna, S., Ivaldi, S. & Chetouani, M. (2015). Evaluating the Engagement with Social Robots. International Journal Of Social Robotics, 7(4), 465 478. https://doi.org/10.1007/s12369-015-0298-7

Brandtzaeg, P. B., Skjuve, M. & Følstad, A. (2022). My AI Friend: How Users of a Social Chatbot Understand Their Human–AI Friendship. Human Communication Research, 48(3), 404–429. https://doi.org/10.1093/hcr/hqac008

Baumeister, R. F., & Leary, M. R. (1995). The need to belong: Desire for interpersonal attachments as a fundamental human motivation. Psychological Bulletin, 117, 497–529.

Bowlby J. The Bowlby-Ainsworth attachment theory. Behavioral and Brain Sciences. 1979;2(4):637-638. doi:10.1017/S0140525X00064955

Canonigo, A. M. (2024). Levering AI to enhance students' conceptual understanding and confidence in mathematics. Journal Learning of Computer Assisted Learning. https://doi.org/10.1111/jcal.13065

Carrera-Rivera, A., Larrinaga, F. & Lasa, G. (2022). Context-awareness for the design of Smart-product service systems: Literature review. Computers in Industry, 142, 103730. https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103730

Chang, W. & Kim, K. (2021). Appropriate service robots in exchange and communal relationships. Journal Of Business Research, 141,462- 474. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.11.044

Chen, C., Liao, M., Walther, J. B. & Sundar, S. S. (2024). When an AI Doctor Gets Personal: The Effects of Social and Medical Individuation in Encounters With Human and AI Doctors. Communication Research, 51(7), 747-781. https://doi.org/10.1177/00936502241263482

Cheng, X., Zhang, X., Cohen, J. & Mou, J. (2022). Human vs. AI: Understanding the impact of anthropomorphism on consumer response to chatbots from the perspective of trust and relationship norms. Information Processing & Management, 59(3), 102940. https://doi.org/10.1016/j.ipm.2022.102940 28

Christoforakos, L., Feicht, N., Hinkofer, S., Löscher, A., Schlegl, S. F. & Diefenbach, S. (2021). Connect With Me. Exploring Influencing Factors in a Human-Technology Relationship Based on Regular Chatbot Use. Frontiers in Digital Health, 3. https://doi.org/10.3389/fdgth.2021.689999

Croes, E. A. J. & Antheunis, M. L. (2020). Can we be friends with Mitsuku? A longitudinal study on the process of relationship formation between humans and a social chatbot. Journal Of Social And Personal Relationships, 38(1), 279 - 300. https://doi.org/10.1177/0265407520959463

De Cicco, R., Silva, S. C. & Alparone, F. R. (2020). Millennials' attitude toward chatbots: an experimental study in a social relationship perspective. International Journal Of Retail & Distribution Management, 48(11), 1213–1233. https://doi.org/10.1108/ijrdm 12-2019-0406

De Graaf, M. M., Allouch, S. B. & Klamer, T. (2014). Sharing a life with Harvey: Exploring the acceptance of and relationship-building with a social robot. Computers in Human Behavior, 43, 1–14. https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.10.030

Fratczak, P., Goh, Y. M., Kinnell, P., Justham, L. & Soltoggio, A. (2021). Robot apology as a post-accident trust-recovery control strategy in industrial human-robot interaction. International Journal Of Industrial Ergonomics, 82, 103078. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.103078

Glickman, M. & Sharot, T. (2024). How human–AI feedback loops alter human perceptual, emotional and social judgements. Nature Human Behaviour. https://doi.org/10.1038/s41562-024-02077-2

Gunawardena, C. (1995). Social presence theory and implications for interaction and collaborative learning in computer conferences. International Journal of Educational Telecommunications, 1(2–3),147-166. https://www.learntechlib.org/p/15156

Guerreiro, J. & Loureiro, S. M. C. (2023). I am attracted to my Cool Smart Assistant! Analyzing Attachment-Aversion in AI-Human Relationships. Journal Of Business Research, 161, 113863. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113863 29 Hartford, A. & Stein, D. J. (2024). The Machine Speaks: Conversational AI and the Importance of Effort to Relationships of Meaning. JMIR Mental Health, 11, e53203. https://doi.org/10.2196/53203

Hohenstein, J. & Jung, M. (2019). AI as a moral crumple zone: The effects of AI mediated communication on attribution and trust. Computers in Human Behavior, 106, 106190. https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.106190

Huang, J. & Lin, C. (2011). To stick or not to stick: The social response theory in the development of continuance perspective. Computers in intention Human 1973.

https://doi.org/10.1016/j.chb.2011.05.003 better from organizational Behavior, 27(5), cross-level 1963

Kim, H., So, K. K. F. & Wirtz, J. (2022). Service robots: Applying social exchange theory to understand human–robot interactions. Tourism Management, 92, 104537. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2022.104537

Marriott, H. R. & Pitardi, V. (2023). One is the loneliest number. . . Two can be as bad as one. The influence of AI Friendship Apps on users' well-being and addiction. Psychology And Marketing, 41(1), 86 -101. https://doi.org/10.1002/mar.21899

Moro, C., Lin, S., Nejat, G. & Mihailidis, A. (2018). Social Robots and Seniors: A Comparative Study on the Influence of Dynamic Social Features on Human–Robot Interaction. International Journal Of Social Robotics, 11(1), 5-24. https://doi.org/10.1007/s12369-018-0488-1

Pan, S. & Mou, Y. (2024). Constructing the meaning of human–AI romantic relationships from the perspectives of users dating the social chatbot Replika. Personal Relationships. https://doi.org/10.1111/pere.12572 30

Pentina, I., Hancock, T. & Xie, T. (2022). Exploring relationship development with social chatbots: A mixed-method study of replika. Computers in Human Behavior, 140, 107600. https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107600

Petermann, F. (2012). Psychologie des Vertrauens. Hogrefe Verlag GmbH & Company KG.

Qin, S., Jia, N., Luo, X., Liao, C. & Huang, Z. (2023). Perceived Fairness of Human Managers Compared with Artificial Intelligence in Employee Performance Evaluation. Journal Of Management Information Systems, 40(4), 1039 -070. https://doi.org/10.1080/07421222.2023.2267316

Salles, A., Evers, K. & Farisco, M. (2020). Anthropomorphism in AI. AJOB Neuroscience, 11(2), 88–95. https://doi.org/10.1080/21507740.2020.1740350

Sasser, J. A., McConnell, D. S. & Smither, J. A. (2024). Investigation of Relationships Between Embodiment Perceptions and Perceived Social Presence in Human–Robot Interactions. International Journal Of Social Robotics, 16(8), 1735-1750. https://doi.org/10.1007/s12369-024-01138-w

Samoili, S., López Cobo, M., Delipetrev, B., Martínez-Plumed, F., Gómez, E., and De Prato, G. (2021). AI Watch. Defining Artificial Intelligence 2.0. Towards an operational definition and taxonomy for the AI landscape, EUR 30873 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi:10.2760/019901, JRC126426. 2021, ISBN 978-92-76-42648-6,

Shahid, S., Krahmer, E. & Swerts, M. (2014). Child–robot interaction across cultures: How does playing a game with a social robot compare to playing a game alone or with a friend? Computers in Human Behavior, 40, 86-100. https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.07.043

Tay, B., Jung, Y. & Park, T. (2014). When stereotypes meet robots: The double-edge sword of robot gender and personality in human–robot interaction. Computers in Human Behavior, 38, 75–84. https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.05.014 31

Textor, C., Zhang, R., Lopez, J., Schelble, B. G., McNeese, N. J., Freeman, G., Pak, R., Tossell, C. & De Visser, E. J. (2022). Exploring the Relationship Between Ethics and Trust in Human–Artificial Intelligence Teaming: A Mixed Methods Approach. Journal Of Cognitive Engineering And Decision Making, 16(4), 252-281. https://doi.org/10.1177/15553434221113964

Ullrich, J., Stroebe, W. & Hewstone, M. (2023). Sozialpsychologie. In Springer eBooks. https://doi.org/10.1007/978-3-662-65297-8

Werth, L., Seibt, B. & Mayer, J. (2019). Sozialpsychologie – Der Mensch in sozialen Beziehungen. In Springer eBooks. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53899-9

Xie, T., Pentina, I. & Hancock, T. (2023). Friend, mentor, lover: does chatbot engagement lead to psychological dependence? Journal Of Service Management, 34(4), 806 828. https://doi.org/10.1108/josm-02-2022-0072

Yuan, Y., Wu, C., Niu, J. & Mao, L. (2024). The Effects of Human-Robot Interactions and the Human-Robot Relationship on Robot Competence, Trust, and Acceptance. SAGE Open, 14(2). https://doi.org/10.1177/21582440241248230

Zhang, S., Zhao, X., Nan, D. & Kim, J. H. (2024). Beyond learning with cold machine: interpersonal communication skill as anthropomorphic cue of AI instructor. International Journal skills Of as anthropomorphic Educational Technology Education, 21(1). https://doi.org/10.1186/s41239-024-00465-2

Zhao, X., Sun, Y., Liu, W. & Wong, C. (2025). Tailoring generative AI chatbots for multiethnic communities in disaster preparedness communication: extending the CASA paradigm. Journal of Computer Mediated Communication, 30(1). https://doi.org/10.1093/jcmc/zmae022 32

Menschliche Digitale Zwillinge zur Erfassung von Beanspruchungszuständen bei der Waldarbeit: Erkenntnisse eines Feldversuchs

Nikolas SCHIERHORST[1], Oliver BRUNNER[1], Martin ZIESAK[2], Alexander MERTENS[1], Verena NITSCH[1]

[1] Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University
Eilfschornsteinstr. 18, D-52062 Aachen
[2] Schusterberg 8, D-86447 Aindling – Hausen

Kurzfassung: Die zunehmende Digitalisierung der Forstwirtschaft eröffnet neue Möglichkeiten zur Erfassung von Beanspruchungszuständen bei der Waldarbeit. Eine explorative Feldstudie untersuchte die Eignung physiologischer Messgrößen bei motormanuellen Fällarbeiten. Zwei Forstwirte wurden während regulärer Arbeitstätigkeiten mit tragbarer Sensorik ausgestattet und bewerteten posthoc ihre Beanspruchung anhand von Videoaufnahmen. Die Messtechnik erwies sich als zuverlässig, und es zeigten sich teilweise deutlich Zusammenhänge zwischen den objektiven physiologischen Messgrößen und subjektiven Bewertungen. Die Ergebnisse liefern erste Erkenntnisse dazu, welche Sensorik und Daten für objektive Beanspruchungsmessung und die Entwicklung Menschlicher Digitaler Zwillinge in der Forstwirtschaft geeignet sein könnten.

Schlüsselwörter: Motormanuelle Holzernte, Digitaler Zwilling, Digitaler Schatten, Human Digital Twin, Pupillometrie, Elektrokardiographie

1. Einleitung & Motivation

In Anlehnung an das Konzept der Industrie 4.0 gewinnt auch in der Forstwirtschaft die Digitalisierung zunehmend an Bedeutung. Unter dem Begriff Forestry 4.0 werden die digitale Vernetzung und datengetriebene Optimierung entlang der gesamten Holzlieferkette zusammengefasst (He & Turner, 2021). Über diese technologische und wirtschaftliche Optimierung hinaus rückt das weiterführende Konzept der Industrie 5.0 jedoch den Menschen stärker in den Mittelpunkt. Die Europäische Kommission betont in diesem Zusammenhang die Notwendigkeit einer menschzentrierten Betrachtungsweise, in der das Wohlbefinden der Arbeitspersonen sowie sichere Arbeitsbedingungen zentrale Ziele darstellen (European Commission, 2022).

Menschliche Digitale Zwillinge (Human Digital Twins, HDT) bieten einen vielversprechenden Ansatz, um diese menschzentrierte Perspektive technologisch umzusetzen. Im industriellen Kontext wurden HDT bereits zur datenbasierten Modellierung von Arbeitspersonen und deren Interaktionen mit Produktionssystemen diskutiert (Gaffinet et al., 2025; Mertens et al., 2021). Während in der Literatur teilweise zwischen „Digitalen Zwillingen" und „Digitalen Schatten" unterschieden wird (Gaffinet et al., 2025), wird hier der branchenübliche Begriff „Digitaler Zwilling" als Oberbegriff verwendet, der ein digitales Abbild einer Arbeitsperson darstellt, das durch kontinuierlich erfasste Daten dynamisch aktualisiert wird.

Durch die kontinuierliche Erfassung physiologischer Messgrößen können HDT objektive Indikatoren zur Bestimmung von Beanspruchungszuständen bereitstellen. Insbesondere kardiovaskuläre und pupillometrische Maße haben sich als Indikatoren für sowohl physische als auch kognitive Beanspruchung erwiesen (Charles & Nixon, 2019).

Die Übertragung dieses Ansatzes auf die Forstwirtschaft ist jedoch mit besonderen Herausforderungen verbunden: Im Gegensatz zu kontrollierten Produktionsumgebungen zeichnet sich die motormanuelle Holzernte durch wechselnde Umweltbedingungen, hochvariable Arbeitsaufgaben sowie eine enge Verzahnung von physischer und kognitiver Beanspruchung aus. Die Feldtauglichkeit physiologischer Messtechnik unter diesen Bedingungen ist bislang wenig untersucht.

Der vorliegende explorative Feldversuch adressiert diese Forschungslücke und untersucht die Eignung physiologischer Messgrößen zur Erfassung von Beanspruchungszuständen bei motormanuellen Fällarbeiten unter realen Arbeitsbedingungen. Dabei werden vor allem die Zusammenhänge zwischen physiologischen Messgrößen und subjektiven Beanspruchungsbewertungen auf Arbeitsaufgabeebene analysiert. Korrelationen zwischen diesen Werten deuten darauf hin, dass die objektiven Messgrößen die erlebte Beanspruchung abbilden, und zeigen deren Potential als Grundlage für HDT zur Erfassung von Beanspruchungszuständen bei der Waldarbeit.

2. Methode

2.1 Experimentelles Design & Ablauf

Der explorative Feldversuch wurde mit zwei Forstwirten durchgeführt, die ihre regulären motormanuellen Fällarbeiten ausführten. Insgesamt wurden vier Baumfällungen (zwei pro Person) dokumentiert und ausgewertet. Während der gesamten Arbeitsphasen erfolgte eine kontinuierliche Erfassung physiologischer Messgrößen. Unmittelbar im Anschluss an jede Fällung wurden die Teilnehmer gebeten, ihre subjektiv wahrgenommene physische und kognitive Beanspruchung anhand von Videoaufnahmen ihrer Tätigkeit zu bewerten. Dieser Ansatz ermöglichte eine minimalinvasive Datenerfassung unter realen Arbeitsbedingungen, ohne den natürlichen Arbeitsablauf zu beeinflussen.

2.2 Versuchspersonen

An der Studie nahmen zwei männliche Forstwirte im Alter von 19 Jahren teil. Beide Teilnehmer befanden sich zum Zeitpunkt der Durchführung am Ende des dritten Ausbildungsjahres und verfügten über entsprechende praktische Erfahrung in der motormanuellen Holzernte.

2.3 Messinstrumente & abhängige Variablen

Die Datenerfassung umfasste objektive physiologische Messungen und subjektive Bewertungen. Für die Videodokumentation kam eine GoPro HERO9 (GoPro, Inc.) zum Einsatz, die alle Arbeitsabläufe aufzeichnete. Die physiologischen Daten wurden mit zwei Geräten erfasst: Ein Movesense Medical Brustgurt-EKG (Movesense Oy, Finnland) zeichnete Herzrate und Herzratenvariabilität auf, während eine Pupil Labs Neon

Eye-Tracking-Brille (Pupil Labs GmbH, Deutschland) den Pupillendurchmesser erfasste. Die subjektive physische und kognitive Beanspruchungsbewertung erfolgte jeweils auf einer 5-stufigen Likert-Skala (von „sehr gering" bis „sehr hoch") in Anlehnung an die *Instantaneous Self-Assessment of Workload (ISA)*-Methode (Jordan & Brennen, 1992). Die Bewertung fand direkt nach der Arbeit statt und wurde durch die Videoaufnahmen unterstützt, um eine möglichst zeitnahe Erfassung der subjektiven Bewertung zu gewährleisten.

***Abbildung 1**: Standbild aus der (a) Videoaufnahme und (b) Eye-Tracker-Aufnahme während eines Fällvorgangs (Baum #1). Grüne Fläche mit rotem Punkt in (b) zeigt den Fixationspunkt.*

2.4 Datenaufbereitung & -auswertung

Für die Auswertung der physiologischen Messungen kamen zwei spezialisierte Softwaretools zum Einsatz: Kubios HRV Premium (v3.5; Tarvainen et al., 2014) analysierte die EKG-Daten zur Bestimmung von Herzrate und Herzratenvariabilität (RMSSD), während die PhysioData Toolbox (v0.7.0; Sjak-Shie, 2025) zur Berechnung des Pupillendurchmessers aus den Eye-Tracking-Daten verwendet wurde.

Um die Daten zwischen den verschiedenen Fällvorgängen vergleichbar zu machen, wurden alle physiologischen Werte pro Fällung z-standardisiert ($z = \frac{x-\mu}{\sigma}$). Anschließend wurden Spearman-Korrelationen zwischen den subjektiven ISA-Bewertungen und den physiologischen Messwerten zu jeder der Arbeitsphasen für jeden Baum (#1 bis #4) separat berechnet. Aufgrund der kleinen Stichprobengröße erfolgte die Auswertung deskriptiv, um erste Anhaltspunkte zur Funktionalität und Eignung der Messtechnik für diesen speziellen Anwendungsfall zu ermöglichen, ohne den Anspruch auf Generalisierbarkeit zu erheben.

3. Ergebnisse

Die eingesetzte Sensorik funktionierte über alle vier Fällarbeiten hinweg zuverlässig, ohne Ausfälle oder technische Probleme. Dies unterstreicht die grundsätzliche Eignung der gewählten Messtechnik für den Einsatz unter realen Arbeitsbedingungen.

3.1 Korrelation der subjektiven und physiologischen Beanspruchungsindikatoren

Die Analyse der physiologischen Daten ergab folgende Zusammenhänge mit den subjektiven Beanspruchungsbewertungen (N pro Baum variiert zwischen 22–31 Arbeitsphasen je nach Messgröße):

Herzrate: Es wurden durchgehend positive Korrelationen mit den ISA-Bewertungen gefunden. Die stärksten Zusammenhänge zeigten sich bei Baum #3 (N = 24) mit

ρ = .84 für die physische und ρ = .67 für die kognitive Beanspruchung. Bei den übrigen Bäumen lagen die Korrelationen zwischen ρ = .54 und ρ = .61 (physisch) bzw. ρ = .34 und ρ = .39 (kognitiv).

Herzratenvariabilität (RMSSD): Die RMSSD zeigte negative Korrelationen mit den Beanspruchungsbewertungen. Bei Baum #2 (N = 27) betrugen die Koeffizienten ρ = −.44 für die physische und ρ = −.24 für die kognitive Beanspruchung. Die Korrelationen bei den anderen Bäumen bewegten sich zwischen ρ = −.34 und ρ = −.51 (physisch) bzw. ρ = -.25 und ρ = -.37 (kognitiv).

Pupillendurchmesser: Die Ergebnisse fielen heterogen aus. Bei Baum #1 (N = 22) zeigten sich starke positive Korrelationen (ρ = .61) für die physische, jedoch nur schwache bis mittlere für die kognitive Beanspruchung (ρ = .28). Bei Baum #3 (N = 27) war das Muster umgekehrt: Die stärksten Zusammenhänge zeigten sich für die kognitive Beanspruchung (ρ = .47), während die physische Beanspruchung nur schwach korrelierte (ρ = .29). Bei Baum #2 (N = 31) und Baum #4 (N = 26) wurden hingegen nur schwache Zusammenhänge beobachtet (ρ zwischen −.11 und .15).

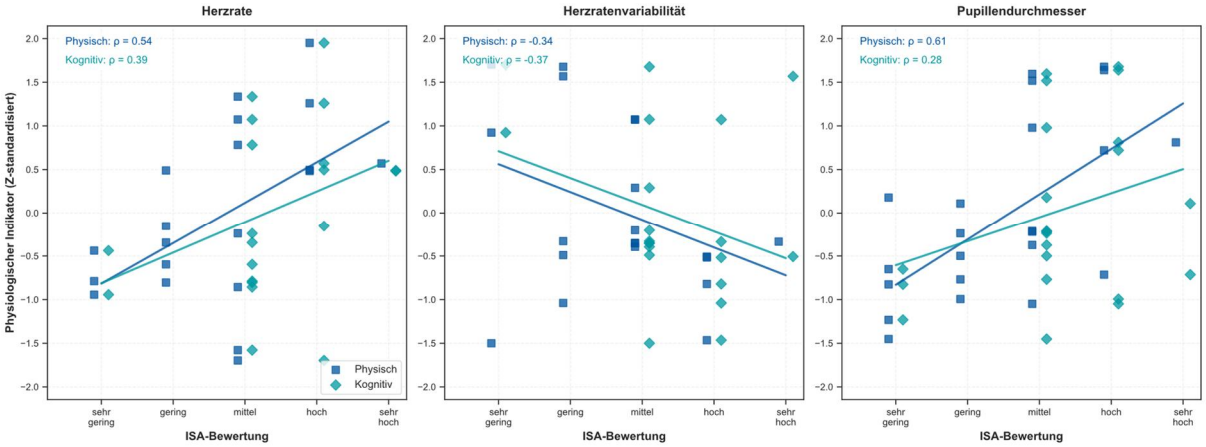


***Abbildung 2**: Korrelation der physiologischen Messgrößen und der subjektiven Beanspruchungs-bewertungen eines Fällvorgangs (Baum #1).*

3.2 Subjektive Beanspruchungen

Ein exemplarischer Verlauf der subjektiven Bewertung der physischen und kognitiven Beanspruchung ist in Abbildung 3 dargestellt. Die subjektiven Bewertungen der physischen und kognitiven Beanspruchung zeigten eine starke Parallelität zueinander. In den meisten Arbeitsphasen wurden beide Beanspruchungs-dimensionen ähnlich hoch bewertet. Hauptsächlich zu Beginn der Tätigkeit, etwa beim Bestimmen der Fällrichtung, wurden die Bewertungen unterschiedlich vorgenommen: Hier wurde die kognitive Beanspruchung als hoch bis sehr hoch eingeschätzt, während die physische Beanspruchung als gering bewertet wurde.

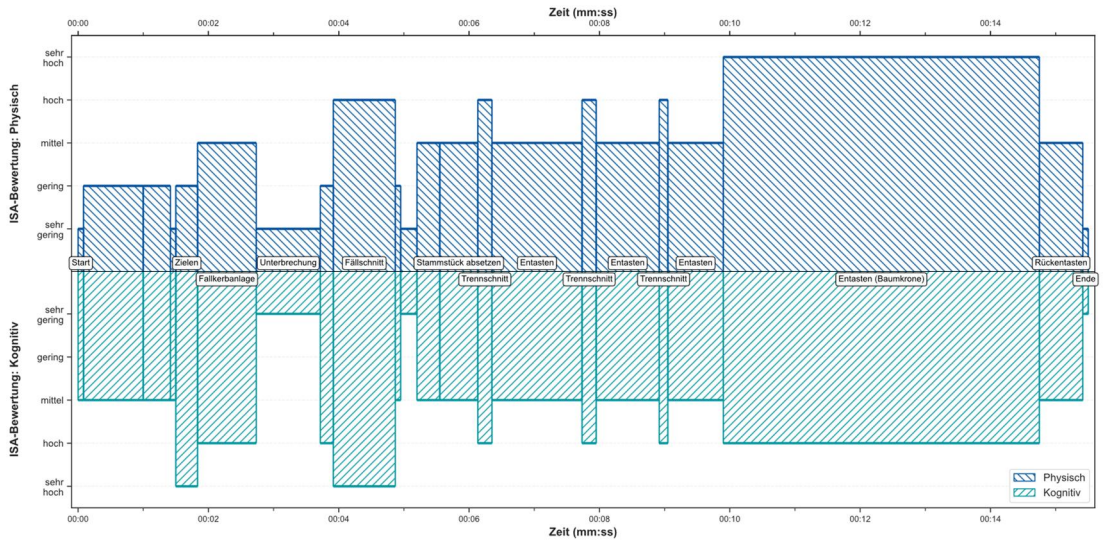


***Abbildung 3**: Angaben der subjektiven ISA-Bewertung für die physische und kognitive Beanspruchung eines Fällvorgangs, aufgeteilt nach Teilarbeitsschritten (Baum #1).*

4. Diskussion & Ausblick

Die Ergebnisse dieses Feldversuchs zeigen, dass physiologische Messgrößen eine vielversprechende Grundlage für die Entwicklung HDT in der Forstwirtschaft bilden können. Die zuverlässige Funktionalität der Messtechnik unter realen Arbeitsbedingungen legt deren grundsätzliche Feldtauglichkeit für die Beanspruchungsanalyse nahe. Besonders bemerkenswert ist das Muster der Korrelationen: Die Herzrate zeigte durchgehend positive Zusammenhänge mit beiden Beanspruchungsdimensionen (ρ bis .81), während die Herzratenvariabilität negative Korrelationen aufwies (ρ bis −.59). Diese gegenläufigen Muster entsprechen den theoretisch erwarteten physiologischen Reaktionen auf Beanspruchung (Charles & Nixon, 2019). Die Korrelationsstärken variierten jedoch zwischen den Baumfällungen.

Die heterogenen Ergebnisse beim Pupillendurchmesser zeigen weiterhin mögliche Limitationen solcher Messgrößen in unkontrollierten Feldbedingungen auf. Diese Variabilität deutet auf eine Kontextabhängigkeit der physiologischen Messgrößen hin: Arbeits- und Umgebungsbedingungen wie Geländebeschaffenheit oder wechselnde Lichtverhältnisse könnten die physiologischen Reaktionen unterschiedlich stark modulieren. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, physiologische Daten mit Kontextinformationen zu verknüpfen, um Beanspruchungszustände valide zu interpretieren. Andere Ansätze wie der *Index of Pupillary Activity* könnten spezifische Umwelteinflüsse wie Lichtverhältnisse rechnerisch korrigieren, müssen allerdings noch sowohl im Labor als auch im Feld untersucht werden (Jayawardena et al., 2022).

Die starke Parallelität der subjektiven Bewertungen zueinander deutet darauf hin, dass eine retrospektive Differenzierung physischer und kognitiver Beanspruchung schwierig ist. Dies unterstreicht die Notwendigkeit objektiver Messgrößen zur kontinuierlichen Erfassung – wobei auch hier die valide Trennung beider Dimensionen eine zentrale Forschungsherausforderung bleibt.

Aufgrund der kleinen Stichprobe von zwei Teilnehmern sind die Ergebnisse allerdings nicht generalisierbar. Die Auswertung erfolgte rein deskriptiv. Die gefundenen Korrelationen beziehen sich auf individuelle Personen während spezifischer Aufgaben und sollten in größeren Studien validiert werden.

Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Validierung physiologischer Messgrößen als Indikatoren für körperliche und kognitive Beanspruchung unter variablen Feldbedingungen. Insbesondere das gleichzeitige Auftreten beider Beanspruchungsarten erfordert weitere Untersuchungen, da bisherige Studien sich meist auf eine Beanspruchungsart konzentrieren.

Langfristig bietet die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung in der Forstwirtschaft hier Potenzial durch die Integration mehrerer Digitaler Zwillinge: Daten von Waldbeständen könnten präzise Informationen über die zu fällenden Bäume liefern – etwa Baumart, Stammdurchmesser oder Bodenbeschaffenheit – und so die erwartete Arbeitsbelastung vorab charakterisieren. Vernetzte Arbeitsgeräte wie sensorbestückte Motorsägen könnten zudem Echtzeitdaten zum aktuellen Arbeitsschritt bereitstellen und damit eine automatisierte Segmentierung der Arbeitsphasen ermöglichen. Die Verknüpfung solcher aufgaben- und umweltbezogenen Daten mit physiologischen Messgrößen des Menschlichen Digitalen Zwillings würde eine differenziertere Analyse von sowohl Belastungs- als auch Beanspruchungszuständen erlauben und könnte eine Entwicklung von adaptiven Assistenzsystemen für die Waldarbeit unterstützen.

5. Literatur

Charles, R. L., & Nixon, J. (2019). Measuring mental workload using physiological measures: A systematic review. *Applied Ergonomics*, *74*, 221–232. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.028

European Commission, Directorate-General for Research and Innovation (2022). *Industry 5.0, a transformative vision for Europe: Governing systemic transformations towards a sustainable industry*. Publications Office of the European Union.

Gaffinet, B., Al Haj Ali, J., Naudet, Y., & Panetto, H. (2025). Human Digital Twins: A systematic literature review and concept disambiguation for industry 5.0. *Computers in Industry*, *166*, 104230. https://doi.org/10.1016/j.compind.2024.104230

He, Z., & Turner, P. (2021). A Systematic Review on Technologies and Industry 4.0 in the Forest Supply Chain: A Framework Identifying Challenges and Opportunities. *Logistics*, *5*(4), 88. https://doi.org/10.3390/logistics5040088

Jayawardena, G., Jayawardana, Y., Jayarathna, S., Högström, J., Papa, T., Akkil, D., Duchowski, A. T., Peysakhovich, V., Krejtz, I., Gehrer, N., & Krejtz, K. (2022). Toward a Real-Time Index of Pupillary Activity as an Indicator of Cognitive Load. *Procedia Computer Science*, *207*, 1331–1340. https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.09.189

Jordan, C., & Brennen, S. (1992). Instantaneous self-assessment of workload technique (ISA). *Defence Research Agency, Portsmouth*.

Mertens, A., Pütz, S., Brauner, P., Brillowski, F., Buczak, N., Dammers, H., …, Nitsch, V. (2021). Human digital shadow: Data-based modeling of users and usage in the internet of production. *2021 14th international conference on human system interaction (HSI)*, 1–8. https://doi.org/10.1109/HSI52170.2021.9538729

Sjak-Shie, E. (2025). *PhysioData Toolbox (Version 0.7.0)* [Software]. https://PhysioDataToolbox.leidenuniv.nl

Tarvainen, M. P., Niskanen, J.-P., Lipponen, J. A., Ranta-aho, P. O., & Karjalainen, P. A. (2014). Kubios HRV – Heart rate variability analysis software. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, *113*(1), 210–220. https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2013.07.024

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt den Mitarbeiter:innen von ThüringenForst-AöR, die diesen Feldversuch ermöglicht haben. Das Projekt CO_2For-IT wird vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt unter dem Förderkennzeichen 01MN23017C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor:innen.

Der Handrücken als Interface? Evaluierung des Handrückens als Projektionsfläche für einen virtuellen Slider mit taktilem Feedback bei der Handgestensteuerung

Lukas FUCHS, Daniel SIEGLE, Peter SCHMID, Thomas MAIER

Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design
Lehrstuhl Technisches Design, Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 9, D-70569 Stuttgart

Kurzfassung: Die Gestensteuerung mit ultraschallbasiertem Feedback ist eine blickabwendungsarme Eingabeart für Tertiäraufgaben im Fahrzeug. In der Forschung wurde hauptsächlich die Projektion auf die Handfläche betrachtet. Der Entfall der Mittelkonsole in Fahrzeugstudien und die alternative Anbringung im Dachhimmel oder um das Lenkrad resultiert jedoch in einer Feedbackprojektion auf den Handrücken. Dieses wird in dieser Studie mit dem Lane Change Test und der Gestenbedienung eines virtuellen Sliders mit 33 Probanden untersucht. Dabei werden die Modulationsfrequenz, die Feedbackart und der Abstand von Handrücken und Ultraschallarray variiert. Es treten signifikante Unterschiede der subjektiven Bewertungen zwischen den Versuchsparametern auf. Die Modulationsfrequenz und der Abstand haben den größten Einfluss auf die Wahrnehmungsrate.

Schlüsselwörter: Mensch-Maschine-Schnittstelle, Mensch-Maschine-Interaktion, virtueller Slider, Taktiles Feedback, Ultraschallbasiertes Feedback, Design for All

1. Einleitung

Bei der Entwicklung neuer Interfacesysteme für Tertiäraufgaben in Fahrzeugen liegt ein starker Fokus auf Touch-, Sprach- und Handgestensteuerung. Dabei bietet die Steuerung mit berührungslosen Interaktionstechnologien einen entscheidenden Vorteil hinsichtlich der visuell geringeren Ablenkung vom Verkehrsgeschehen (Bach et al. 2008; Harrington et al. 2018). Allerdings werden in am Markt erhältlichen Systemen bislang nur audiovisuelles Feedback auf bereits überlastete Sinneskanäle übertragen. Harrington et al. (2018) haben gezeigt, dass der Einsatz von ultraschallbasiertem taktilem anstatt audiovisuellem Feedback bei der Gestensteuerung im Fahrzeug zur Bedienung einer Tertiäraufgabe zu reduzierter Blickabwendung von der Straße führt. Aufgrund des Entfalls des Schaltgetriebes bei Elektrofahrzeugen entfällt in Konzeptfahrzeugen oft die Mittelkonsole. In der Forschung zur Gestensteuerung mit ultraschallbasiertem Feedback auf die Handfläche ist dies jedoch der bevorzugte Einbauort. Eine alternative Positionierung hinter dem Lenkrad (Montano et al. 2024) oder im Dachhimmel führt dazu, dass die Projektion auf den Handrücken erfolgt. Ultraschallbasiertes Feedback auf die behaarte Haut, wie der Handrücken, ist bislang jedoch zu großen Teilen unerforscht (Pittera et al. 2021). Im Rahmen dieser Arbeit wird daher untersucht, wie sich unterschiedliche Modulationsfrequenzen, Feedbackarten und Abstände von Sender (Ultraschallarray) und Projektionsfläche (Handrücken) auf Wahrnehmung und Nutzbarkeit des taktilen Feedbacks auf dem Handrücken auswirken.

2. Methodik

Das Studiendesign besteht aus einer Haupt- und Nebenaufgabe. Die Hauptaufgabe ist dabei der Lane Change Test (ISO 26022), bei dem die Probanden in regelmäßigen Abständen Spurwechsel mit einem Lenkrad und einer Pedalanlage in einer Sitzkiste ausführen müssen (vgl. Abb. 1a). Parallel zur Fahraufgabe muss nach Ertönen eines Signaltons der letzte Spurwechsel ausgeführt werden, um dann mit der Nebenaufgabe mit Gestensteuerung und taktilem ultraschallbasiertem Feedback zu starten. Dabei dient ein virtueller Slider als Bedienelement für die Nebenaufgabe, welcher über eine taktile Skala dem Nutzer Rückmeldung bezüglich der getätigten Einstellung auf dem Handrücken vermittelt (vgl. Abb. 1b). Der Slider kann anhand einer diskreten zehnstufigen taktilen Skala beschrieben werden, die sich über den gesamten mittig über dem Ultraschallarray positionierten Verstellbereich von 300 mm erstreckt. Dabei wird die volle Intensität bzw. der Schalldruck von 1124 Pa des Systems genutzt.

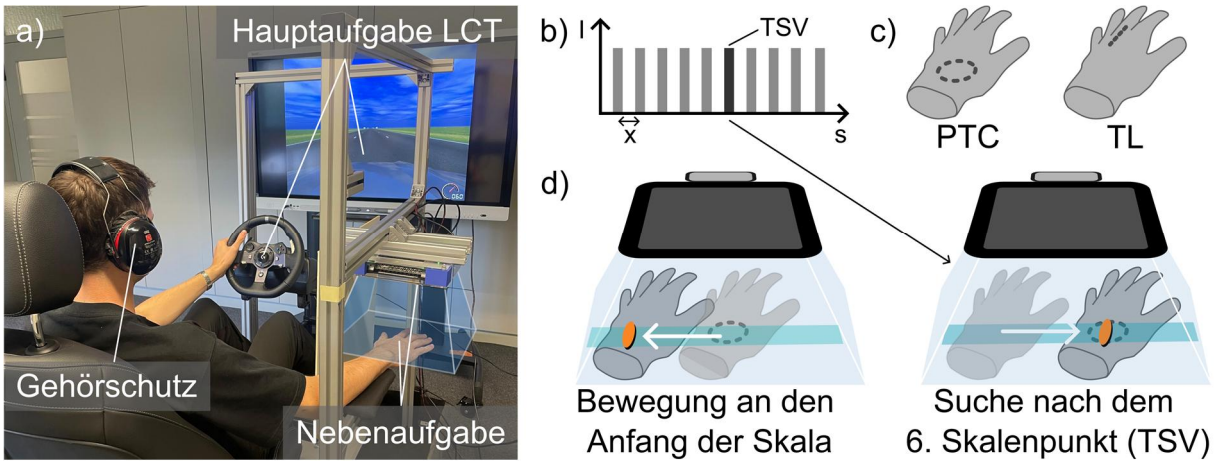


***Abbildung 1**: a) Versuchsaufbau, b) Aufbau des Sliders, c) Darstellung der Feedbackarten PTC und TL und d) Vorgehen bei Suche nach dem einzustellenden Skalenpunkt (TSV).*

***Tabelle 1:** Versuchsparameter der Haupt- und Nebenaufgabe.*

Bezeich-nung	Nebenaufgabe			Hauptaufgabe
	Abstand	**Feedbackart**	**Frequenz (Hz)**	**Strecke (Spurwechsel)**
50P20	20 cm	PalmTrackedCircle	50	1 (3)
80P20		PalmTrackedCircle	80	4 (3)
128P20		PalmTrackedCircle	128	10 (4)
50T20		TrackedLine	50	2 (2)
80T20		TrackedLine	80	4 (3)
128T20		TrackedLine	128	1 (3)
50P32	32 cm	PalmTrackedCircle	50	2 (2)
80P32		PalmTrackedCircle	80	10 (4)
128P32		PalmTrackedCircle	128	4 (2)
50T32		TrackedLine	50	4 (3)
80T32		TrackedLine	80	1 (3)
128T32		TrackedLine	128	2 (3)

Die Versuchsparameter Abstand der Hand zum Ultraschallarray, Feedbackart und Modulationsfrequenz werden während der einzelnen Versuchsdurchläufe systematisch nach Normzahlreihe R5 (DIN 323-1) in 12 Parameterkombinationen variiert (vgl. Tab.1). Die Feedbackart beschreibt dabei den Ort und die Ausführung des Feedbacks auf der Hand (vgl. Abb. 1c). Die Feedbackart PalmTrackedCircle (PTC) ist ein kreisförmiges Feedback, das mit der spatio-temporalen Modulation mit einem Durchmesser

von 10 cm auf den Handrücken projiziert wird. Die Feedbackart TrackedLine (TL) ist ein linienförmiges Feedback das mit der lateralen Modulation auf die Rückseite des Mittelfingers projiziert wird. Die Modulationsfrequenz beschreibt die Frequenz, mit der der Fokuspunkt sich über das gleiche Hautareal bewegt (Frier et al. 2018). Da die Änderung des Abstands einen Umbau des Prüfstands erfordert, werden die Versuchsparameter nur innerhalb des ersten und zweiten Blocks der Abstände zwischen Hand und Ultraschallquelle variiert, wobei die Blockreihenfolge ebenfalls randomisiert wird.

2.1 Probanden

Alle Probanden haben einen Führerschein der Klasse B und keine Einschränkungen im rechten Arm-Hand-Fingerbereich. An der Studie haben 34 Probanden teilgenommen, jedoch hat eine Person das ultraschallbasierte Feedback auf dem Handrücken nicht wahrgenommen und wurde daher von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Die damit 33 Probanden (24 männlich, 9 weiblich) haben ein mittleres Alter von 25,4 Jahre (SD = 3,35 Jahre, Range = 19 - 32 Jahre). 24 % der Probanden haben bereits Vorerfahrung mit ultraschallbasiertem Feedback. Für die einstündige Testdurchführung erhielten die Probanden eine Aufwandsentschädigung von 10 €.

2.2 Studiendurchführung

Die Probanden werden zu Beginn über den Studieninhalt und -ablauf aufgeklärt und gebeten die Datenschutz- und Einwilligungserklärung für die anonymisierte Verarbeitung der Versuchsdaten zu unterschreiben. Im Anschluss werden demographische Daten, feinmotorische Fähigkeiten und Vorerfahrung mit ultraschallbasiertem Feedback der Probanden erfasst. Nachfolgend nehmen die Probanden in der in Abb. 1 dargestellten Sitzkiste Platz und stellen ihren Sitz in eine komfortable Position ein. Für die Gewöhnung an das Fahrverhalten und -manöver wird zuerst nur die Hauptaufgabe mit LCT eingeführt. Anschließend wird der Aufbau und die Nebenaufgabe des virtuellen Sliders erklärt. Das Einlernen der Nebenaufgabe erfolgt mit einer später nicht in den Versuchsdurchgängen verwendeten Modulationsfrequenz von 95 Hz. Dabei sollen die Probanden, wie auch in allen späteren Versuchsdurchgängen den virtuellen Slider auf den sechsten Skalenwert stellen. Dazu wird die Hand zunächst nach Ertönen des Klingeltons vom Lenkrad gelöst und unter das Ultraschallarray bewegt. Unterhalb wird dann die Hand ganz nach links zum Nullpunkt des virtuellen Sliders bewegt, um von dort beginnend bei einer Bewegung nach rechts den sechsten Skalenpunkt, den „Target Slider Value“ (TSV), zu finden (vgl. Abb. 1d). Sobald dieser erreicht ist, wird die Hand zur Speicherung des Skalenwerts drei Sekunden stillgehalten. Zum Abschluss der Einführung werden die Haupt- und Nebenaufgabe testweise gemeinsam durchgeführt. Nach erfolgreicher Einführung werden die Versuchsdurchläufe ausgeführt. Jeder der Versuchsdurchläufe beginnt mit der Hauptaufgabe des Spurwechsels, die bis zum Ertönen des Klingeltons durchgeführt wird. Dann beginnt die Ausführung der Nebenaufgabe. Die Probanden bewerten die Versuchsparameter nach jedem Versuchsdurchlauf hinsichtlich der Usability. Dabei werden objektive und subjektive Daten zur Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit während der Ausführung der Haupt- und Nebenaufgabe anhand 7-stufiger Likert-Skalen und des kurzen User Experience Questionnaire (UEQ-S) (Schrepp et al. 2017) von den Probanden erfasst.

3. Ergebnisse

Ein Teil der Probanden hat bei manchen Versuchsparametern das ultraschallbasierte Feedback nicht gespürt. Bei diesen Versuchsparametern wurden bei diesen Probanden keine weiteren Daten aufgenommen und diese Versuchsdurchläufe aus dem Datenset entfernt. Daher variiert die Anzahl der Probanden, zwischen den einzelnen Versuchsparametern, was bei der Betrachtung der Ergebnisse berücksichtigt werden muss (vgl. Abb. 2). Die Wahrnehmungsraten beim Abstand von 20 cm haben sich bis auf bei 128P20 (45,4 %) nur geringfügig mit 90,9 % bis 100 % unterschieden (vgl. Abb. 2). Beim Abstand von 32 cm variieren diese mit 57,6 % bis 87,8 % stärker und auf einem niedrigeren Niveau. Allgemein ist für das Feedback PTC ein Trend unabhängig vom Abstand erkennbar, dass die Steigerung der Modulationsfrequenz zu einer sinkenden Wahrnehmungsrate führt. Für das Feedback TL hingegen ist eine Steigerung für höhere Modulationsfrequenzen erkennbar. Ähnliche Trends sind auch bei der Intensitätsbewertung erkennbar (vgl. Abb. 2). Wobei die Unterschiede zwischen den beiden Abständen geringer ausfallen. Der Median der mittleren Abweichung des LCT liegt für alle Versuchsparameter zwischen 0,57 m und 0,67 m und der Mittelwert zwischen 0,61 m und 0,70 m. Die mittlere mentale Beanspruchung ist lediglich bei 50 Hz und PTC-Feedback beim Abstand von 20 cm (50P20) mit 0,41 deutlich geringer positiv als bei 32 cm (50P32) mit 1,28 bewertet (vgl. Abb. 2).

Für die inferenzstatistische Auswertung der nominalskalierten Bewertung der Wahrnehmungsrate wird der McNemar-Test (Janssen und Laatz 2017) in IBM SPSS Statistics Version 29.0.1.0 verwendet (vgl. Abb. 2). Die Paare 50P20-50P32 ($p = .039$, $n = 33$), 80T20-80T32 ($p = .031$, $n = 33$), 80P32-128T32 ($p = .016$, $n = 33$) und 128P32-80T32 ($p = .039$, $n = 33$) weisen signifikante, die Paare 80P20-80P32 ($p = .004$, $n = 33$) und 128P32-128T32 ($p = .002$, $n = 33$) hoch signifikante und die Paare 50P20-128P20 ($p < .001$, $n = 33$), 80P20-128P20 ($p < .001$, $n = 33$), 128P20-50T20 ($p < .001$, $n = 33$), 128P20-80T20 ($p < .001$, $n = 33$) und 128P20-128T20 ($p < .001$, $n = 33$) höchst signifikante Unterscheide bei der Bewertung der Wahrnehmungsrate auf. Für die inferenzstatistische Betrachtung der restlichen Daten werden zunächst die Daten auf Normalverteilung in IBM SPSS Statistics Version 29.0.1.0 mit dem Shapiro-Wilk-Test geprüft, wobei die Daten aufgrund eines Wertes von $p < .05$ nicht normalverteilt sind. Für die Auswertung der verbundenen abhängigen nicht normalverteilten Stichproben der Bewertung der Intensität, der mentalen Beanspruchung, Einstellzeit und der mittleren Abweichung beim LCT mit unvollständigen Datensätzen wird der Skillings-Mack-Test (Chatfield und Mander 2009) in R 4.5.2 mit dem Paket Skillings.Mack 1.10 verwendet. Dem Skillings-Mack-Test nach unterscheiden sich sowohl bei der Bewertung der Intensität (Chi-Quadrat (11) = 35,963, $p < 0,001$, p (empirisch) < 0,001) als auch der mentalen Beanspruchung (Chi-Quadrat (11) = 28,303, $p = 0,003$, p (empirisch) < 0,001) die zentralen Tendenzen signifikant zwischen den Versuchsparametern. Die Einstellzeit und mittlere Spurabweichung des LCT weißen damit keine signifikanten zentralen Tendenzen auf und werden im Folgenden nicht weiter betrachtet. Für die Bewertung der Intensität und der mentalen Beanspruchung wird in IBM SPSS Statistics Version 29.0.1.0 der Wilcoxon-Test als Post-hoc-Test (Janssen und Laatz 2017) verwendet. Die Paare 50P20-128P20 ($z = -2.18$, $p = .029$, $n = 15$), 50P20-50T20 ($z = -2.17$, $p = .030$, $n = 29$), 50P20-128T20 ($z = -2.37$, $p = .018$, $n = 30$), 80P20-80T20 ($z = -2.44$, $p = .015$, $n = 31$), 50P32-50T32 ($z = -1.98$, $p = .048$, $n = 21$), 128P32-80T32 ($z = -2.11$, $p = .035$, $n = 17$) weisen signifikante, die Paare 50P20-50P32 ($z = -2.93$, $p = .003$, $n = 24$), 80P32-128P32 ($z = -2.67$, $p = .008$, $n = 16$), 128P32-128T32 ($z = -3.01$, $p = .003$, $n = 19$) und 50T32-128T32 ($z = -3.12$, $p = .002$,

n = 24) hoch signifikante und das Paar 50P20-80P20 (z = -3.92, p <.001, n =30) höchst signifikante Unterscheide bei der Bewertung der Intensität auf. Die Paare 50P20-128P20 (z = - 2.01, p = .044, n = 15), 50P20-50P32 (z = -2.59, p = .010, n = 24), 50P32-80T32 (z = -2.40, p = .016, n = 21), 80P32-80T32 (z = -2.25, p = .024, n = 21) und 128P32-80T32 (z = -1.96, p = .005, n = 17) weisen signifikante, die Paare 50P20-80P20 (z = - 3.24, p = .001, n = 30) und 80P20-80T20 (z = -3.18, p = .001, n = 31) hoch signifikante Unterscheide bei der Bewertung der mentalen Beanspruchung auf.

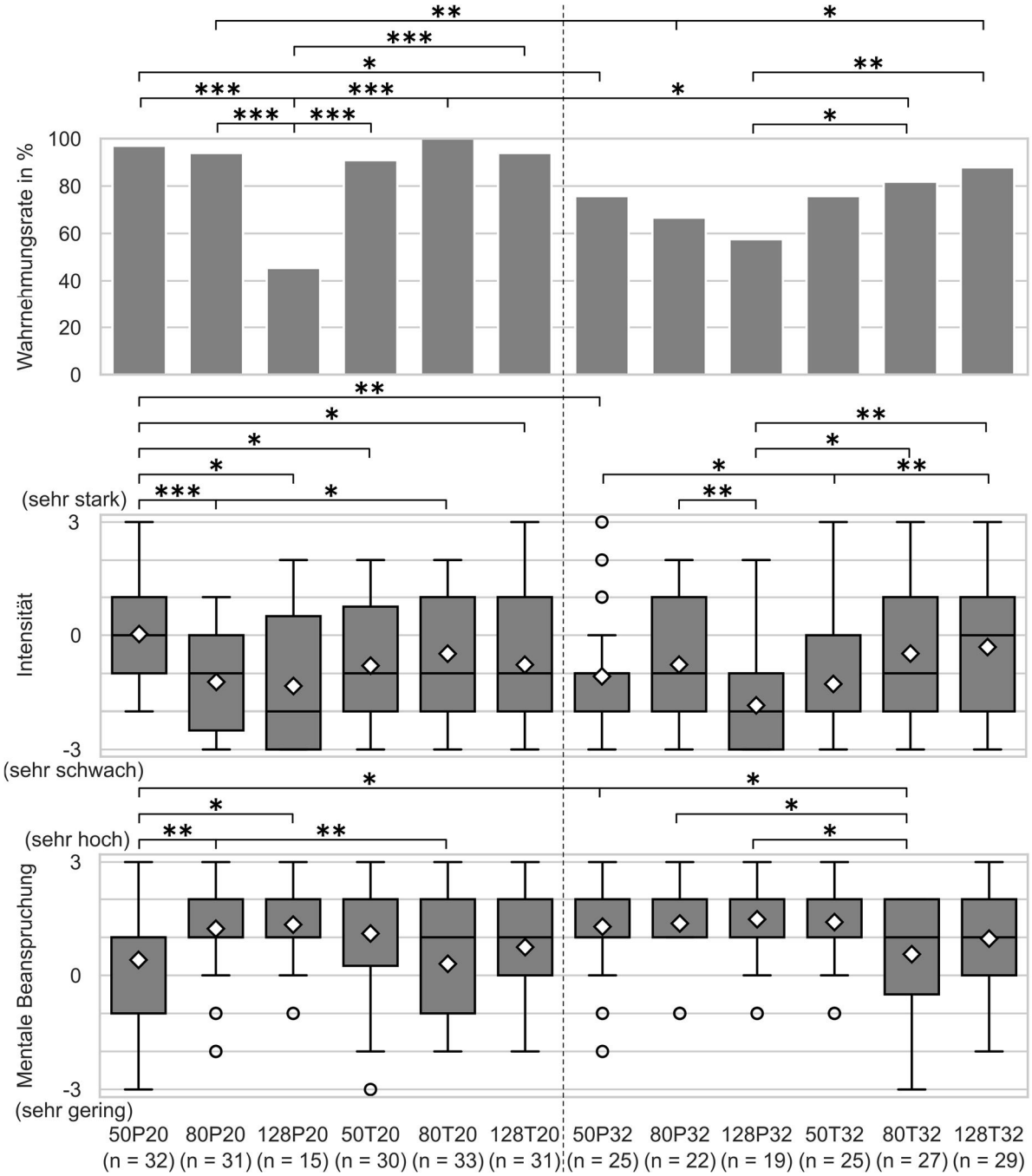


Abbildung 2: *Versuchsergebnisse mit Kennzeichnung der signifikanten Unterschiede, die für die Wahrnehmungsrate mit dem McNemar-Test und für die restlichen Messgrößen mit dem Wilcoxon-Test bestimmt wurden. Die Ausreißer sind mit Kreisen und der Mittelwert mit einer Raute markiert. *p < ,05; **p < ,01; ***p <,001.*

4. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass auf dem Handrücken (PTC) eine niedrigere Frequenz von 50 Hz zu einer Steigerung der Wahrnehmungsrate des Feedbacks führt. Dieser Effekt tritt beim Linienfeedback auf den Mittelfinger (TL) nicht auf. Im Gegenteil führt die Steigerung der Frequenz hier zu einer besseren Wahrnehmbarkeit und Bewertung der Intensität, ähnlich wie auf der Handvorderseite (Fuchs et al. 2025). Zwischen den beiden Abständen treten beim PTC-Feedback mehr signifikante Unterschiede auf. Die Unterscheide der beiden Feedbackarten können zum einen auf den Feedbackort, aber auch auf die Modulationsart zurückzuführen sein (Pittera et al. 2021).

5. Zusammenfassung und Ausblick

Diese Studie zeigt, dass beim ultraschallbasierten Feedback auf den Handrücken die Modulationsfrequenz bei Feedback auf die rückseitige Handfläche (PTC) einen stärkeren Einfluss auf die Wahrnehmungsrate und wahrgenommene Intensität als der Abstand haben. Dieser Effekt scheint beim Feedback auf den Mittelfinger nicht aufzutreten. Weitere Untersuchungen des ultraschallbasierten Feedbacks auf den Handrücken sind erforderlich um die Wahrnehmungseffekte und -einflüsse zu verstehen.

6. Literatur

Bach KM, Jæger MG, Skov MB, Thomassen NG (2008) You can touch, but you can't look. In: Proceedings of the CHI Conference 2008. New York, NY, USA: ACM, 1139-1148.

Chatfield M, Mander A (2009) The Skillings–Mack Test (Friedman Test when There are Missing Data). The Stata Journal: Promoting communications on statistics and Stata 9:299-305.

DIN, Deutsches Institut für Normung (1974) Normzahlen und Normzahlreihen. DIN 323-1.

Frier W, Ablart D, Chilles J, Long B, Giordano M, Obrist M, Subramanian S (2018) Using Spatiotemporal Modulation to Draw Tactile Patterns in Mid-Air. In: 11th Haptics. Springer, Cham, 270-281.

Fuchs L, Narasinghe N, Schmid P, Maier T (2025) Influence of Modulation Frequency and Feedback Diameter on Gesture Control with Mid-Air Haptics in a Driving Simulator. In: Krömker H (Ed) HCII, HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems. Cham: Springer Nature Switzerland.

Harrington K, Large DR, Burnett G, Georgiou O (2018) Exploring the Use of Mid-Air Ultrasonic Feedback to Enhance Automotive User Interfaces. In: Proceedings of the 10th International AutomotiveUI. New York, NY, USA: ACM, 11-20.

ISO, Internationale Organisation für Normung (2010) Straßenfahrzeuge - Ergonomische Aspekte über Transportinformationen und Regelsysteme. ISO 26022.

Janssen J, Laatz W (2017) Statistische Datenanalyse mit SPSS – Eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem und das Modul Exakte Tests. 9. Ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Montano R, Morales R, Pittera D, Frier W, Georgiou O, Cornelio P (2024) Knuckles notifications: mid-air haptic feedback on the dorsal hand for hands-on-the-wheel driving. Front. Comput. Sci. 6, Artikel 14552011455201.

Pittera D, Orestis G, Abdouni A, Frier W (2021) “I Can Feel It Coming in the Hairs Tonight”: Characterising Mid-Air Haptics on the Hairy Parts of the Skin. In: 15th IEEE Transactions on Haptics.

Schrepp M, Hinderks A, Thomaschewski J (2017) Design and Evaluation of a Short Version of the User Experience Questionnaire (UEQ-S). 1989-1660 4:103.

Danksagung: Diese Forschungsarbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemein-schaft (DFG) im Rahmen des Forschungsprojekts "Ultraschallbasierte taktile Feed-backgestaltung einer berührungslosen Mensch-Maschine-Schnittstelle unter Berück-sichtigung des Nutzeralters" (Projektnummer 500499494) gefördert.

Developing a method to improve human performance through task redesign and decision support system embedded in virtual reality technology

Hamed SALMANZADEH[1], Mojtaba AHMADI[2]

[1] *Department of Industrial Engineering, K.N.Toosi University of Technology, Tehran, Iran*
[2] *Department of Ergonomics, School of Public Health Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*

Abstract: This study aimed to enhance human performance in the wax pattern correction process within turbine blade manufacturing by integrating task redesign and a decision support system (DSS) in a virtual reality (VR) environment. The Methodology-Time Measurement (MTM-UAS) technique was employed to redesign the frazing task, establishing standardized work procedures. A VR-based task support system was developed to provide real-time guidance to operators during the defect correction process. Thirty skilled operators participated in the study, performing the task under both conventional and redesigned conditions. Key performance indicators task completion time, error rate, and mental workload were evaluated before and after the intervention. The results demonstrated significant improvements: task time decreased from 47.48 ± 2.48 minutes to 32.33 ± 1.32 minutes ($p < 0.001$), and error rates dropped from 0.8 ± 0.84 to 0.067 ± 0.25 ($p < 0.001$). Mental workload, assessed using the DRAWS and RSME scales, also showed significant reductions across most dimensions, except temporal demand. The findings indicate that the integration of MTM-based task redesign and a VR-embedded DSS can substantially improve operational efficiency, accuracy, and cognitive load management. This approach not only standardizes complex manual processes but also supports digital transformation in industrial settings, offering potential applications in training and smart manufacturing systems.

Keywords: Human Performance, Task Redesign, Decision Support System, Virtual Reality, MTM-UAS, Mental Workload, Wax Pattern Correction

1. Introduction

One of the operational processes in the turbine blade manufacturing industry involves the production of wax patterns for turbine blade molds. During the casting process, porosity, voids, and protrusions form on the surfaces of these patterns, or results in a decrease in wall thickness in certain sections of the product. The presence of these defects in the patterns ultimately leads to the production of a non-standard and low-quality mold. Therefore, it is essential that, prior to molding, the surface defects of these wax patterns are inspected by specialized personnel and repaired using materials of the same composition. This inspection and repair process varies for each product type and even between two similar products. Consequently, operators performing this task face a significant degree of uncertainty in identifying the number

and size of cavities and surface irregularities. These factors sometimes cause the repair of a single pattern to take hours, demanding considerable mental and visual effort from the worker and may occasionally lead to a failure of detection.

In this study, to enhance human performance regarding the three criteria of speed, accuracy, and attentional demand [1], the MTM technique was utilized to redesign the wax pattern correction task at a turbine blade manufacturing company in Iran. Since this task involves inherent uncertainty, a task support system was also designed to provide operators with necessary guidance at each stage of the work. The research scenario was designed and implemented in a virtual reality environment to evaluate the study's outcomes.

2. Method

The first phase of the study involved the redesign of the Frazing task using the MTM technique.(Frazing is a finishing operation in manufacturing, where an operator uses a hand tool to remove small surface imperfections from a wax pattern). The objective of this phase was to optimize the work method to reduce process time and to establish a standardized work procedure as a benchmark for evaluating operator performance [2,3,4].

In the second phase, a study was conducted in a virtual reality environment. At this stage, a decision support system (DSS) was designed and programmed to assist in the execution of the target task. Such a system can aid operator decision-making [5,6]. Figure 1 illustrates the project execution phases.

Three human performance indicators task completion time, human error, and mental effort—were assessed before and after the intervention.

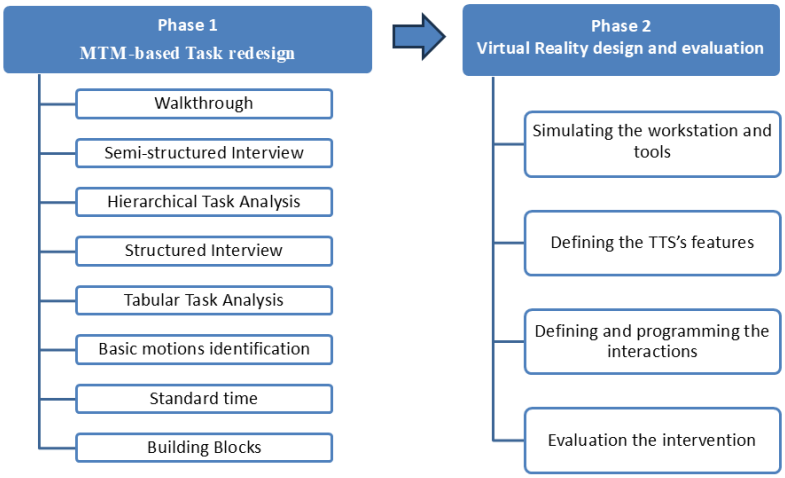


Figure 1: *Project Execution Phases.*

Task Redesign Using the MTM-UAS Method

Following a site visit and interviews with the relevant department managers, the necessary data were collected. This data included the weight, dimensions, and variety of the manufactured product, the sequence of work steps, the types of tools used for pattern correction, the type and quantity of materials used for pattern repair, the distances between workstations, as well as the specifications of the product quality control stations. Subsequently, for a more detailed analysis of the subtasks, the entire

process was analyzed through multiple consecutive observations and cross-referenced with the information gathered from the interviews.

The coding and time standardization of the subtasks, which were broken down in the job analysis table, were performed according to the MTM-UAS technique guidelines, and the standard times for the basic motions of these subtasks were determined. In the next stage, based on the MTM method protocol, these subtasks were consolidated into work packages(Building blocks), and a set of work packages was created for this job. The allowances in the task are primarily related to personal and fatigue allowances, which were calculated as a percentage of the normal time.

Task Support System in the Virtual Reality Environment

In the second phase of this study, the work environment of the Frazing unit was simulated in a virtual reality environment. For this purpose, after measuring and recording the physical characteristics of the work environment, the target work piece, tools, and workplace objects were first designed in the 3D simulation software Blender. Subsequently, to create an interactive environment, the interconnections between the created models were defined using the Python programming language, finally resulting in an environment with the desired features. In this environment, users were able to interact with the surroundings using a VR headset and hand controllers. Figure 2 shows a view of the simulated environment. Figure 3 also displays the work tools designed in the Blender environment.

Figure 2: *The simulated frazing unit environment in Blender.*

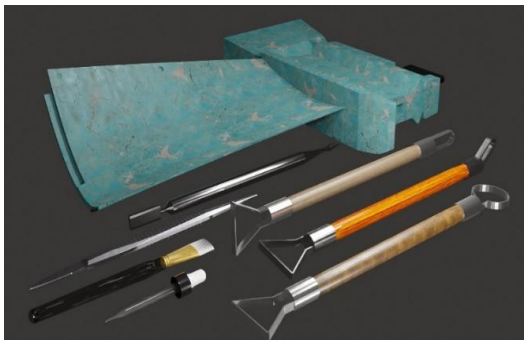


Figure 3: *Tools used in the frazing task.*

In the simulated environment, the wax pattern and all tools necessary for the frazing operation were modeled at a 1:1 scale. A Task Support System (TSS) was embedded in this environment to provide users with necessary guidance at certain stages. This support system solely displayed the MTM-style work execution steps along with the work piece defects to the operators. Thirty relatively skilled operators were selected to work in the virtual reality environment, and in two separate sessions, they were provided with explanations regarding the work process and the tests that had to be performed.

Participants entered the simulated environment using the VR headset and hand controllers and performed the target task according to the defined protocol. The test instruments included two scales RSME [7] and DRAWS [8] for measuring the operators' mental workload, and a digital stopwatch. Figure 4 shows a part of the users' task execution in the virtual reality environment.

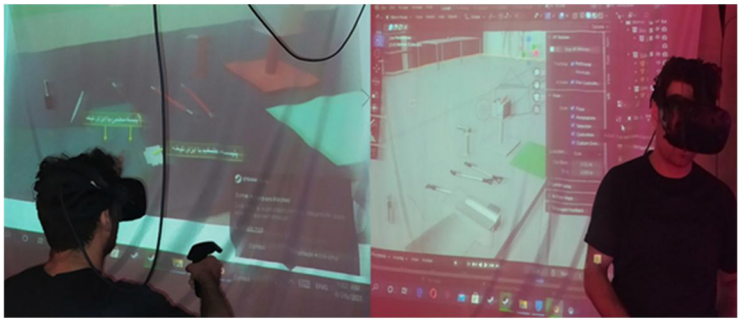


Figure 4: *Performing the frazing operation in the virtual reality environment.*

Each operator worked on correcting the work pieces twice in the virtual reality environment: once using the conventional method, and once using the protocol defined by the MTM method with the task support system. The task completion time for each stage was recorded with a stopwatch. After each stage, the operators received two forms containing the two mental workload assessment scales and marked the appropriate position on the scale based on the level of mental effort they experienced during the task. The second testing session was conducted one week after the first stage. A key point regarding the surface defects is that the cast parts(work pieces) from the first and second stages were nearly identical in terms of the number of surface flaws and the size of cavities; however, the location of these defects on the part surface could vary.

To examine the effectiveness of the intervention, the pre- and post-intervention data were entered into SPSS software, version 26, and then compared. For analyzing the study results, a paired t-test was used to detect significant differences before and after the intervention. Additionally, the non-parametric Wilcoxon signed-rank test was used for data that were not normally distributed.

3. Results

The theoretical operation completion time was calculated to be approximately 14 minutes. It should be noted that this is the calculated time for the core task and does not include general activities. The duration of general activities can be added separately. The total allowance time per work piece was equivalent to 26% of the total time, amounting to 3.6 minutes. By adding the time allowance values to the normal times, the standard time for each work piece was determined to be 17.5 minutes.

The means before and after the intervention, together with the standard deviations and p-values for the variables of task time, error rate, workload, and mental effort, are presented in Table 1. The mental workload scale, assessed using the DRAWS instrument, included four components: Central Demand, Input Demand, Output Demand, and Temporal Demand, each of which was tested separately. Mental effort for detecting surface defects on the work pieces was measured using the RSME instrument, which provides a score between 0 and 150. The results of the paired t-test for these variables indicated that, following the intervention, a significant difference emerged in participants' task completion time and mental workload with the exception of temporal demand compared to the pre-intervention period.

Table 1: *Results of the Paired T-Test before and after the Intervention in the VR Environment.*

Variable		Mean Before Intervention ± SD	Mean After Intervention ± SD	Mean Difference ± SD	p-value	Effect Size
Time (minutes)		47.48 ± 2.48	32.33 ± 1.32	15.15 ± 0.45	<0.001	0.975
Number of Errors		0.8	0.067	0.73	<0.001	0.448
Mental Demands (DRAWS)	Central	53.63 ± 17.16	36.83 ± 9.44	16.8 ± 3.5	<0.001	0.433
	Input	62.4 ± 13.7	54.5 ± 11.6	7.9 ± 3.2	0.019	0.179
	Output	46.97 ± 13.7	39.4 ± 10.5	7.5 ± 2.4	0.003	0.260
	Temporal	40.47 ± 12.98	42.53 ± 11.26	-2.0 ± 2.87	0.478	0.017
Mental Effort (RSME)		75.3 ± 17.8	62.16 ± 6.37	12.9 ± 4.3	0.006	0.236

Charts 1 and 2 provide a comparison of the pre- and post-intervention values for the variables of task time, work accuracy, and the operators' mental workload in the virtual reality environment.

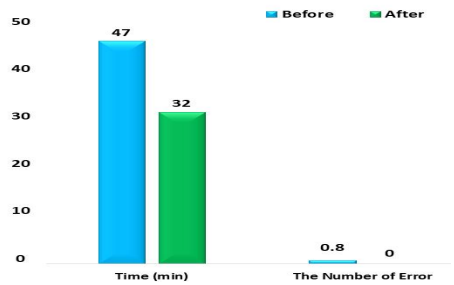


Chart 1: *Pre- and Post-Intervention Comparison for Task Time and Error Variables in the VR Environment.*

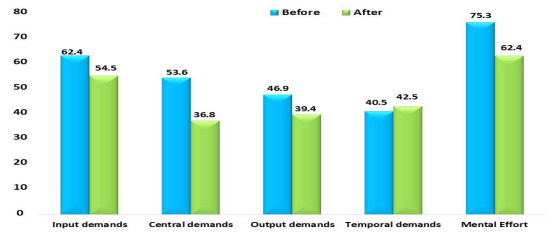


Chart 2: *Pre- and Post-Intervention Comparison of Mental Workload Demands and Effort in the VR Environment.*

4. Discussion and Conclusion

The digitization of the correction task in turbine blade wax pattern, via MTM technique and the use of a task support system for real-time operator guidance, successfully enhanced both work speed and human accuracy. Furthermore, the implementation of this technology reduced mental workload and, consequently, operator mental fatigue, leading to a further decrease in human error and an increase

in operator work capacity. This appears to have the potential to improve worker job satisfaction as well.

Codifying the mentioned work tasks using the MTM-UAS method, in addition to standardizing the work procedure and predicting task completion time, can serve as a digital job description for factory smartification within the framework of the fourth and fifth industrial revolutions. This enables the fully automated reception of factory orders by intelligent systems, calculation of process completion times, and finally, estimation of product cost.Moreover, these digital codes can be utilized together with Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) systems to design and deliver necessary training to new operators in minimal time, without causing any material waste on physical components.

Conducting the present study in a virtual reality environment demonstrated that complex training can be effectively delivered within simulated environments. This approach carries minimal risk and inflicts the least damage to products, while providing workers with essential guidance through a virtual support system. It also allows for the assessment of operator performance and skill level for placement in such roles prior to the commencement of their actual duties.

Acknowledgements: The authors would like to extend their sincere gratitude to MAPNA Turbine Blade Engineering and Manufacturing Company(PARTO) for their invaluable support and collaboration in this research project. We are particularly thankful for the opportunity to conduct field tests in their industrial facilities and for the active participation of their personnel. This work would not have been possible without the generous cooperation of the entire team, from management to the operational staff, who facilitated the testing process. Our heartfelt thanks go to all who contributed.

5. References

Harbour JL. Lean human performance improvement: CRC Press; 2014.

González Rodríguez G, Gonzalez-Cava JM, Méndez Pérez JA. An intelligent decision support system for production planning based on machine learning. Journal of Intelligent Manufacturing. 2020;31(5):1257-73.

Li Y, Carabelli S, Fadda E, Manerba D, Tadei R, Terzo O. Machine learning and optimization for production rescheduling in Industry 4.0. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2020;110:2445-63.

Romeo L, Loncarski J, Paolanti M, Bocchini G, Mancini A, Frontoni E. Machine learning-based design support system for the prediction of heterogeneous machine parameters in industry 4.0. Expert Systems with Applications. 2020;140:112869.

Kern C, Refflinghaus R, editors. Process optimization in manual assembly by software-based identification of quality-critical work steps. 19th Toulon-Verona International Conference: Excellence in Services, Huelva, S; 2016.

Vitello M, Galante L, Capoccia M, Caragnano G. Ergonomics and workplace design: application of Ergo-UAS System in Fiat Group Automobiles. Work. 2012;41(Supplement 1):4445-9.

De Waard D, Brookhuis K. The measurement of drivers' mental workload. University of Groningen: Traffic Research Centre VSC; 1996.

Castor M, Hanson E, Svensson E, Nählinder S, LeBlaye P, MacLeod I, et al. GARTEUR Handbook of mental workload measurement. GARTEUR, Group for Aeronautical Research and Technology in Europe, Flight Mechanics Action Group FM AG13. 2003;164.

Teleoperation in Rail and Tram Systems: A Scoping Review on Work Design, Roles, Tasks, and Human–Machine Interfaces

Alexandra NICK, Lina KLUY, Barbara DEML

Institut für Arbeitswissenschaft & Betriebsorganisation, KIT
Engler-Bunte-Ring 4, D-76131 Karlsruhe

Abstract: As rail transport becomes increasingly automated, ensuring effective human fallback solutions is critical to safety and performance. Teleoperation enables remote intervention, but research on human roles, workplaces, and performance is fragmented. This scoping review maps *current concepts and technologies* for teleoperation in rail and tram systems, emphasizing the central roles of human operators and human–machine interface design. This results in an in-depth synthesis of teleoperation studies and identification of key task clusters.
Following PRISMA guidelines, a systematic literature search was conducted in five databases. Of 505 unique publications, 71 met the inclusion criteria after title and abstract screening. After full-text analysis, 59 studies were included and categorized into teleoperation (n = 21) and control room contexts (n = 38). Results reveal a wide variety of publications from various perspectives on teleoperation in the rail domain. Included studies ranged from prototype workplaces and interface concepts to task and activity analyses. However, validated performance metrics, comparative studies, and consistent theoretical grounding remain scarce. The findings highlight the need to better integrate human factors, ergonomics, and system design in future research on railway teleoperation.

Keywords: Human Factors, Railway remote control, Human-Machine Interface, Teleoperation, PRISMA

Disclaimer: ChatGPT and Grammarly were used to check and optimize the outline and grammar in the submitted publication.

1. Introduction

The increasing automation of rail and tram systems raises fundamental questions regarding the integration of human fallback solutions when automated agents reach the limits of their operational design domain (Stene, 2018; Üyümez et al., 2024). While teleoperation has been widely discussed as a promising strategy in road-based and cross-domain mobility contexts (e.g., Wahlström et al., 2015), research in the rail domain remains fragmented and technology-driven. Existing work addresses either remote driving concepts (e.g., Gadmer et al., 2021), operator support in control rooms (Brandenburger & Naumann, 2018), or isolated prototype workplaces (Michel et al., 2025). In the railway domain, teleoperation or remote control is predominantly discussed as an event-based intervention strategy, in which human operators are involved in ambiguous, degraded, or safety-critical situations that exceed the capabilities of automated systems (Brandenburger et al., 2018; Üyümez & Oetting, 2020). This use

case is beyond passive monitoring and highlights the need to understand the demands of human–machine interaction, cognitive requirements, and design constraints for future teleoperation workplaces (Cort & Lindblom, 2025). At the same time, only a few empirical studies investigate operators' information needs, interface design, and the evaluation of teleoperation systems with respect to usability, workload, and performance metrics. To address these gaps, this literature review examines the conceptual, technological, and ergonomic landscape of teleoperation for rail and tram systems. It synthesizes current research to identify design implications, methodological shortcomings, and open challenges. The following research questions guide the process of the review:

RQ1: Which tasks and roles are described for remote operators in rail and tram teleoperation?

RQ2: Which workplace and workstation designs (including prototypes) are currently used for remote interaction and control?

RQ3: Which human-machine interface (HMI) design guidelines, principles, or interface concepts are proposed for teleoperation in rail-based systems?

RQ4: How are teleoperation workplaces and prototypes evaluated, particularly with respect to human factors, usability, workload, and performance metrics?

Due to the limited space, only the results for RQ1 are described in detail. The other results are available in OSF and will be published elsewhere. By systematically synthesizing these aspects, the review provides a structured foundation for further requirements analysis for these types of workplaces. It supports the development of human-centered teleoperation concepts for future rail mobility.

2. Method

A systematic literature search was conducted in five databases (IEEE Xplore, ACM Digital Library, Scopus, Web of Science, and TRID) following PRISMA guidelines (Page et al., 2021). Search strategies were adapted to the metadata structure of each database, using title-, abstract-, and keyword-based queries where available. The search query consists of the following terms connected with Boolean operators:

(rail* OR railway OR railroad OR tram* OR "light rail" OR metro OR subway OR train) AND (teleoperat* OR "remote operat*" OR "remote assist*" OR teledriv* OR "remote control" OR "control room" OR "remote operation center" OR ROC) AND (workstation OR workplace OR console OR ergonom* OR HMI OR "user interface" OR human)

The query was slightly adapted to align with the database requirements for wildcards and available search definitions. All results were downloaded and imported into Zotero to remove the duplicates. The screening phase was twofold. First, titles, keywords, and abstracts were screened in SysRev[5]. The inclusion and exclusion criteria are predefined and manually screened for by the first author. Inclusion criteria were defined as containing 1) explicit reference to rail- or tram-based transportation (e.g., railway, metro, light rail, tram-train), 2) relevance to teleoperation, including remote control, remote assistance, or remote supervision, and 3) consideration of human factors, HMI, workplace aspects, or the role of a human remote operator. Publications were excluded when they did not meet these criteria or addressed purely technical automation topics without human involvement. During abstract screening, SysRev decision rules with Boolean labels ensure consistent classification. The labels "domain: rail/train

[5] Project available: https://www.sysrev.com/u/97708/p/262852

transportation," "phenomenon: teleoperation," and "considering workplace/ HMI/human" needed to be true to include a publication for the full-text analysis. This resulted in 71 publications being identified as relevant. Afterwards, the availability and context are checked with the full texts. The publications are subdivided into two groups for the context of control rooms (n = 38) and distinct teleoperation (n = 21). One publication was excluded from the full-text analysis because it primarily addresses e-learning processes rather than teleoperation. This review analyzes 20 publications on railway teleoperation. The PRSIMA search flow is illustrated in Figure 1.

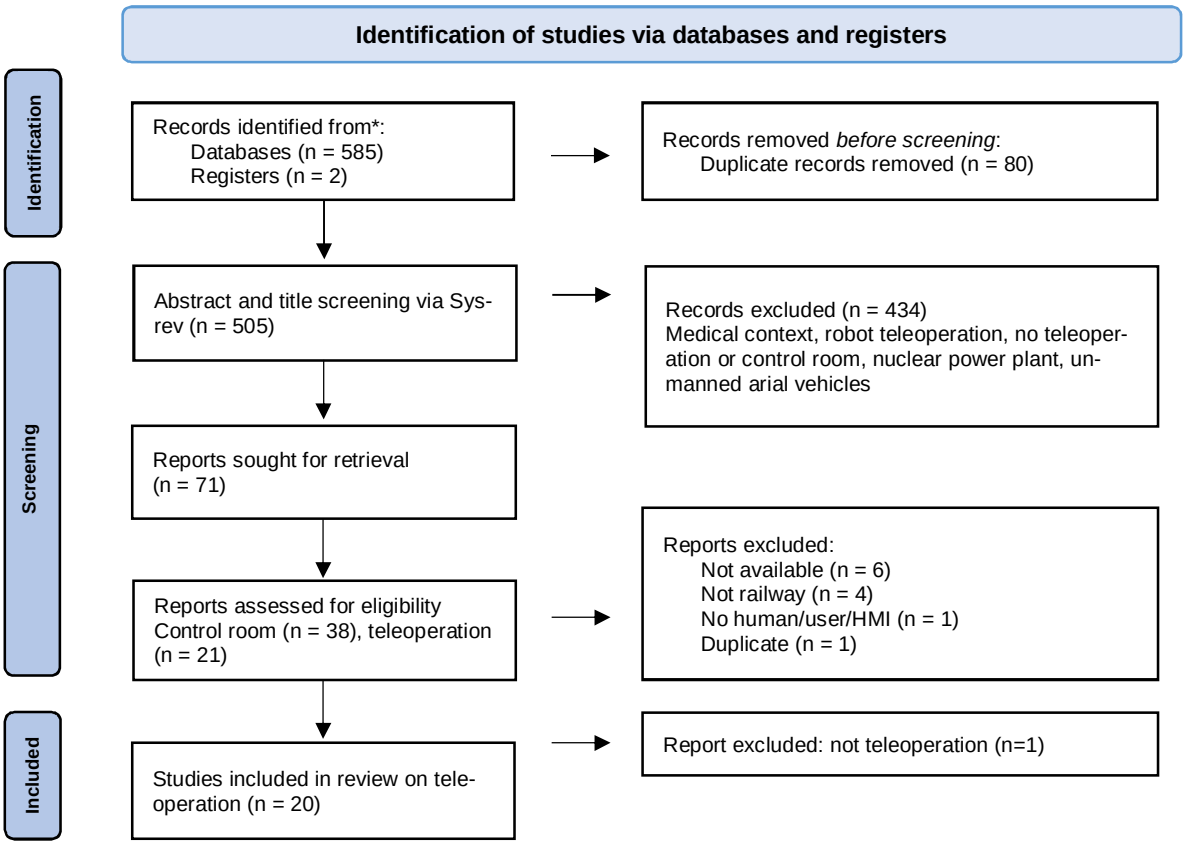


***Figure 1**: Summary of the search process, abstract and full text screening* (Page et al., 2021).

In the second phase, the 20 full-texts are analyzed and subdivided into analysis (n = 5), study (n = 8), and other categories, including conceptual publications, reviews, and framework articles (n = 7). All additional information regarding the searches, screening phases, and results is provided in OSF[6].

3. Results

The 20 reviewed publications span from 2007 to 2025, with a clear concentration (75%) published after 2018, indicating a growing research interest in recent years and sustained relevance of the topic up to the present. The literature predominantly focuses on the rail domain (n = 14, part of the criteria), with few studies addressing mixed transport systems (n = 5) and contributions to metro systems (n = 1). The majority of

[6] Additional data: https://osf.io/gb7me/overview?view_only=d36ee8a1653248958cf12f395c610ce5

the publications (n = 9) focus on *remote driving* and (n = 8) *supervision*. *Remote assistance* in terms of decision-making support without remote driving is not addressed in the identified publications, indicating a strong research emphasis on direct control and oversight roles rather than on supportive teleoperation concepts. Based on these publications and their references, teleoperation refers to the ability of a human to sense and manipulate a system through a set of techniques that transpose action capabilities from a remote location (Garrec et al., 2010; Michel et al., 2025). This remote operation is done without direct sensory contact to the teleoperated system (Wahlström et al., 2015). Applied to remote train control (RTC), this describes the act of driving railway rolling stock and engaging with other agents at a distant site to ensure safety, even in environmentally challenging situations or when the technical system malfunctions (Gadmer et al., 2022; Morin et al., 2024). This definition already highlights the different roles and related tasks for remote operators.

Across the reviewed literature, a broad range of tasks and roles associated with teleoperation in the railway domain are reported. Rather than describing a single, homogeneous teleoperator role, this review inductively categorizes tasks into five task clusters that vary in their temporal structure, operational scope, and level of responsibility (Table 1).

Table 1: *Summary of task clusters identified based on the selected publications.*

Task cluster	Examples of specific tasks	References
Remote driving (direct control)	Traction and braking control; speed and power management; compliance with speed limits; manual route following via symbolic track maps; low-speed maneuvering; driving on sight during fallback	Gadmer et al., 2021, 2022; McDonald et al., 2014; Michel et al., 2025; Pacaux-Lemoine et al., 2020; Young Kim et al., 2019
Monitoring & supervision	Continuous monitoring of automated train movements; supervision of system states; vigilance during prolonged low-activity phases; detection of irregular situations	Brandenburger et al., 2021; Brandenburger & Naumann, 2018; Cummings et al., 2025; Dobson, 2015; Wahlström et al., 2015
Intervention & recovery	Handling automation-triggered intervention requests; diagnosing abnormal situations; short-term manual control during degraded modes; recovery and retrieval of automated trains	Brandenburger & Naumann, 2018; Reinach et al., 2007; Stene, 2018; Üyümez et al., 2024; Üyümez & Oetting, 2020
Understanding & sensemaking	Interpreting abstract system representations; constructing situation awareness at a distance; anticipating conflicts, disruptions, and delay cascades; anomaly identification	Cort & Lindblom, 2025; Gadmer et al., 2021, 2022; Karvonen et al., 2011
Coordination & organizational	Coordination with dispatch, maintenance, and emergency services; alignment of actions across roles and systems; system-level decision-making during disruptions	Dobson, 2015; Křižan et al., 2024; Morin et al., 2024; Wahlström et al., 2015

The first cluster comprises *remote driving* tasks, which involve continuous or event-based manual control of a train. This direct control includes traction and braking, speed management, and compliance with operational constraints. These tasks are described in studies on remote locomotive driving (e.g., Young Kim et al., 2019) and fallback operation (e.g., Brandenburger et al., 2021), in which teleoperation replaces onboard driving for extended periods or during recovery scenarios. A second cluster relates to *monitoring and supervision* tasks. Operators continuously observe automated train movements and system states, often across multiple vehicles. Studies adopting this perspective emphasize vigilance, sustained attention, and the ability to detect and diagnose irregular situations (Berdal et al., 2025). Closely related are *intervention and*

recovery tasks. They occur when the rail automation reaches its operational limits or when an intervention request is triggered. These tasks include diagnosing abnormal conditions, assuming control for short periods, and restoring safe system operation in degraded modes. Unlike continuous remote driving, intervention tasks are episodic and mostly safety-critical (Cummings et al., 2025). Some studies highlight *understanding and sensemaking* tasks, focusing on the cognitive work required to construct situational awareness despite spatial distance and reduced sensory cues. This is further extended to an accurate understanding of the capabilities and risks of the railway automation system. Example tasks include interpreting abstract representations, translating them into actionable decisions, anticipating disruptions, and predicting system limitations (Karvonen et al., 2011). *Coordination and organizational* tasks occur mainly in publications that aim for a system framework or adopt a managerial perspective (Morin et al., 2024). These tasks involve coordination across organizational units, communication with external agents (technical, other remote agents, authorities), and participation in shared decision-making processes during exceptional situations.

Overall, comparison across studies reveals a fundamental distinction between continuous task structures (e.g., remote driving) and event-based task structures (e.g., supervision and intervention). The perspective of the publications strongly influences which task clusters are emphasized and which role is highlighted. The individual clusters should not be viewed as independent of one another. On the contrary, most teleoperation workplaces combine various tasks from other domains (Wahlström et al., 2015). In summary, the reviewed literature describes remote operators in rail and tram teleoperation as hybrid operational roles whose tasks range from continuous remote driving and system monitoring to event-based intervention, recovery, diagnosis, and coordination, with the specific role configuration depending on the operational context, level of automation, and analytical perspective of the respective studies.

4. Conclusion

This review provides a structured overview of research on different tasks and human roles in railway teleoperation. It includes the diversity of concepts, approaches, and implementations of teleoperation. The reviewed literature should be understood as a starting point for deeper, empirically grounded investigations. Future research should focus on comparative studies, laboratory human factors studies to advance understanding of task-related information processing in teleoperation, and tests of solutions to theoretically derived problems to contribute to human-centered rail-based teleoperation.

5. Literature

Berdal, Q., Gadmer, Q., & Richard, P. (2025). Towards the management of vigilance in railway operations through drivers state feedback loop. *Cognition, Technology & Work*. doi: 10.1007/s10111-025-00828-3

Brandenburger, N., & Naumann, A. (2018). Towards remote supervision and recovery of automated railway systems: The staff's changing contribution to system resilience. *2018 International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT)*, 1–5. doi: 10.1109/ICIRT.2018.8641576

Brandenburger, N., Naumann, A., & Jipp, M. (2021). Task-induced fatigue when implementing high grades of railway automation. *Cognition, Technology & Work*, *23*(2), 273–283. doi: 10.1007/s10111-019-00613-z

Cort, R., & Lindblom, J. (2025). Remote situatedness beyond the control room: Enhanced seeing and sense of place in railway operations. *Cognition, Technology & Work*, *27*(1–2), 375–400. doi: 10.1007/s10111-025-00802-z

Cummings, M. L., Nneji, V. C., & Li, S. (2025). Predicting workload of dispatchers supervising autonomous systems. In *Interdependent Human-Machine Teams* (pp. 293–314). Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-443-29246-0.00015-8

Dobson, K. (2015). Human Factors and Ergonomics in Transportation Control Systems. *Procedia Manufacturing*, *3*, 2913–2920. doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.815

Gadmer, Q., Pacaux-Lemoine, M.-P., & Richard, P. (2021). Human-Automation - Railway remote control: How to define shared information and functions? *IFAC-PapersOnLine*, *54*(2), 173–178. doi: 10.1016/j.ifacol.2021.06.022

Gadmer, Q., Richard, P., Popieul, J.-C., & Sentouh, C. (2022). Railway Automation: A framework for authority transfers in a remote environment. *IFAC-PapersOnLine*, *55*(29), 85–90. doi: 10.1016/j.ifacol.2022.10.236

Garrec, P., Riwan, A., David, O., & Measson, Y. (2010). Téléopération – Principes et technologies. *Robotique*. doi: 10.51257/a-v1-s7810

Karvonen, H., Aaltonen, I., Wahlström, M., Salo, L., Savioja, P., & Norros, L. (2011). Hidden roles of the train driver: A challenge for metro automation. *Interacting with Computers*, *23*(4), 289–298. doi: 10.1016/j.intcom.2011.04.008

Křižan, L., Vojtek, M., Široký, J., Gašparík, J., & Dedík, M. (2024). Human Resource Efficiency in Sustainable Railway Transport Operation. *Sustainability*, *16*(22), 10095. doi: 10.3390/su162210095

McDonald, J. D., Kazi, S., Darling, C. M., Durso, F. T., & Glover, K. A. (2014). HF/E Audit of a Locomotive Remote Control Device. *Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications*, *22*(3), 4–12. doi: 10.1177/1064804614526201

Michel, E., Richard, P., & Berdal, Q. (2025). Remote control desk in Industry 4.0 for train driver: An ergonomics perspective. *Procedia Computer Science*, *253*, 1045–1054. doi: 10.1016/j.procs.2025.01.166

Morin, X., Olsson, N. O. E., & Lau, A. (2024). Managerial Challenges in Implementing European Rail Traffic Management System, Remote Train Control, and Automatic Train Operation: A Literature Review. *Future Transportation*, *4*(4), 1350–1369. doi: 10.3390/futuretransp4040065

Pacaux-Lemoine, M.-P., Gadmer, Q., & Richard, P. (2020). Train remote driving: A Human-Machine Cooperation point of view. *2020 IEEE International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS)*, 1–4. doi: 10.1109/ICHMS49158.2020.9209333

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. doi: 10.1136/bmj.n71

Reinach, S. J., Fadden, S., Gamst, F. C., & Acton, S. A. (2007). The Use of Heart to Assess the Risk of Remote Control Locomotive Operations: A Tale of Two Cities. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *51*(20), 1411–1415. doi: 10.1177/154193120705102008

Stene, T. M. (2018). Automation of the rail—Removing the human factor? In S. Haugen, A. Barros, C. Van Gulijk, T. Kongsvik, & J. E. Vinnem, *Safety and Reliability – Safe Societies in a Changing World* (1st ed., pp. 1947–1955). CRC Press. doi: 10.1201/9781351174664-244

Üyümez, B., & Oetting, A. (2020). Integration of Humans in the Fallback Process by a Machine in Fully Automated Railway Operation. In T. Ahram, W. Karwowski, A. Vergnano, F. Leali, & R. Taiar (Eds.), *Intelligent Human Systems Integration 2020* (Vol. 1131, pp. 992–998). Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-39512-4_151

Üyümez, B., Önen, B., & Oetting, A. (2024). Unravelling Safety-Critical Situations in Remote Operation Mode for Automated Trains—A Systematic Approach with STPA. *2024 8th International Conference on System Reliability and Safety (ICSRS)*, 364–370. doi: 10.1109/ICSRS63046.2024.10927449

Wahlström, M., Hakulinen, J., Karvonen, H., & Lindborg, I. (2015). Human Factors Challenges in Unmanned Ship Operations – Insights from Other Domains. *Procedia Manufacturing*, *3*, 1038–1045. doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.167

Young Kim, S., Subrahmaniyan, N., & Brooks, J. D. (2019). Evaluation of Interface Modality Effectiveness for Remotely-Controlled Locomotives. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *63*(1), 2211–2215. doi: 10.1177/1071181319631150

Geteilte mentale Modelle in der Teamarbeit: Eine integrative Literaturanalyse zur Differenzierung zwischen Human-Human-Teams und Human-Autonomy-Teams

Stefan LANG[1], Thomas SÜßE[2]

[1] *Fachbereich Wirtschaft, Hochschule Bielefeld, Interaktion 1, D-33619 Bielefeld*
Abteilung Unternehmen und Märkte, Promotionskolleg für angewandte Forschung in Nordrhein-Westfalen (PK NRW), Konrad-Zuse-Straße 10, D-44801 Bochum
[2] *Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Mathematik*
Lehrgebiet Personal und Organisation, Hochschule Bielefeld
Langer Weg 9a, D-33332 Gütersloh

Kurzfassung: Die zunehmende Integration agentenbasierter KI-Systeme in Arbeitskontexte führt zur Entstehung von Human-Autonomy-Teams (HATs), für deren erfolgreiche Zusammenarbeit bislang ein konsolidiertes teamkognitives Erklärungsmodell fehlt. Der Beitrag untersucht im Rahmen einer integrativen Literaturanalyse, unter welchen konzeptionellen Bedingungen das aus der Forschung zu Human-Human-Teams (HHTs) etablierte Konzept geteilter mentaler Modelle (Shared Mental Models, SMMs) auf HATs übertragbar ist. Ausgangspunkt ist die Diskrepanz zwischen einer reifen SMM-Forschung in HHTs und einer bislang fragmentierten Literatur zur Mensch-KI-Kollaboration. Aufbauend auf einer systematischen Synthese zentraler Forschungsstränge wird ein konzeptionelles Rahmenmodell entwickelt, das explizite Rollenkenntnis des Menschen in Bezug auf die KI sowie agentische Transparenz als zentrale Voraussetzungen für die Ausbildung belastbarer SMMs in HATs herausstellt. Der Beitrag leistet damit einen theoriebildenden Beitrag zur Teamkognitionsforschung und zur arbeitswissenschaftlichen Gestaltung menschengerechter Mensch-KI-Arbeitssysteme.

Schlüsselwörter: Human-Human-Teams (HHTs), Human-Autonomy-Teams (HATs), geteilte mentale Modelle, integrative Literaturanalyse, Teamkognition.

1. Einleitung und Relevanz

Die rasante Entwicklung im Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI) führt zu einer zunehmend tiefgreifenden Integration algorithmisch gesteuerter Systeme in organisationale Arbeitsprozesse (Buxbaum, 2020; Müller et al., 2024). Insbesondere in wissensintensiven und koordinierten Arbeitssituationen treten KI-Systeme nicht mehr nur als Werkzeuge, sondern als kollaborative Teampartner auf. Gleichwohl fehlt bislang ein konsolidiertes theoretisches Verständnis darüber, unter welchen Bedingungen Mensch-KI-Teams tatsächlich leistungsfähiger sind als einzelne Akteure oder rein menschliche Teams (Vaccaro et al., 2024). Vor diesem Hintergrund verfolgt der vorliegende Beitrag das Ziel, mittels einer integrativen Literaturanalyse die Übertragbarkeit der SMM-Theorie aus der Forschung zu HHTs auf HATs konzeptionell zu klären und zentrale Wirkmechanismen der Teamleistung in hybriden Mensch-KI-Konstellationen systematisch zu synthetisieren.

Frühere Studien zur Mensch-Computer-Interaktion zeigen, dass Menschen technischen Systemen soziale Eigenschaften zuschreiben und diese in Interaktionen wie soziale Akteure behandeln (Nass & Steuer, 1993). Damit gewinnt die Frage an Bedeutung, wie teamkognitive Prozesse in hybriden Arbeitssystemen gestaltet und welche Bedingungen die Entstehung von Teamleistung bestimmen. Ein systematischer Vergleich zwischen HHTs und HATs erlaubt es, zentrale Unterschiede in Koordination, Rollenverständnis und Leistungsentstehung herauszuarbeiten.

HATs sind hybride Teams aus menschlichen Akteuren und algorithmisch gesteuerten, agentenbasierten KI-Systemen, die mit eigenen Kommunikations- und Entscheidungsfähigkeiten ausgestattet sind und in interdependenten Aufgabenkontexten als „machine teammates“ auftreten (Lyons et al., 2021, S. 5; Schelble et al., 2022). Während die Wirkmechanismen von SMMs in HHTs als umfassend erforscht gelten (Mohammed et al., 2010; Stout et al., 1999), bleibt ihre theoretische Übertragbarkeit auf HATs bislang unzureichend untersucht.

Der vorliegende Beitrag greift diese Diskrepanz zwischen einer etablierten Forschung zur Bildung von SMMs in HHTs und einer bislang jungen, fragmentierten Literatur zu HATs auf und richtet den Blick auf zentrale konzeptionelle Voraussetzungen erfolgreicher Teamkognition in hybriden Arbeitskonstellationen.

2. Problemstellung und konzeptioneller Fokus

Die Übertragung etablierter Konzepte von SMMs auf HATs wirft grundlegende konzeptionelle Fragen auf, da KI-Systeme zwar als kollaborative Teampartner auftreten, jedoch weder über menschliche Intentionalität noch über implizites Kontextwissen verfügen.

Das CASA-Paradigma (Computers Are Social Actors, Nass & Moon, 2000) zeigt, dass Menschen KI-Agenten wie soziale Akteure behandeln, da sie auf bestehende SMMs und soziale Skripte zurückgreifen (Honeycutt & Bryan, 2011; Schank & Abelson, 1977). Aktuelle Erweiterungen des Modells belegen die Entstehung spezialisierter „Human-Media-Skripte“, die maschinenspezifische Interaktionsmuster berücksichtigen und somit als Grundlage für die Entwicklung von SMMs in HATs verstanden werden können (Gambino et al., 2020).

Zugleich warnen Gauckler und Werner (2024) davor, generativen KI-Systemen zu viel Vertrauen zu schenken, weil solche Systeme kein echtes, intrinsisches Verständnis aufweisen, sondern lediglich statistische Muster simulieren. Neuere Studien zeigen, dass Menschen im Umgang mit KI-Agenten spezifische SMMs entwickeln, die über klassische HHT-Skripte hinausgehen (Gambino et al., 2020). Die Studie von Vaccaro et al. (2024) zeigt, dass HATs nur dann Leistungsgewinne erzielen, wenn menschliche Kompetenzen die KI übertreffen, während umgekehrt Leistungseinbußen entstehen. Dies unterstreicht die zentrale Bedeutung einer expliziten Rollenkenntnis der Akteure in HATs (Vaccaro et al., 2024, S. 2295).

Vor diesem Hintergrund ergibt sich die konzeptionelle Problemstellung, wie das für HHTs etablierte Konzept der SMMs an die spezifischen Anforderungen von HATs anzupassen ist (Lyons et al., 2021, S. 12).

3. Theoretischer Hintergrund

SMMs sind geteilte kognitive Repräsentationen über Aufgaben, Rollen und Teamprozesse (Mohammed et al., 2010; Stout et al., 1999), die es den Teammitgliedern ermöglichen, das Verhalten des jeweils anderen zu antizipieren und die Koordination von Teamprozessen effizient zu gestalten (Klimoski & Mohammed, 1994; Mohammed et al., 2010). Im Kontext von HHTs gilt der Einfluss von SMMs auf die Teamprozesse und Teamleistungen als umfassend erforscht (Klimoski & Mohammed, 1994; Stets & Burke, 2000). Hingegen ist die Übertragbarkeit dieser Erkenntnisse auf HATs bislang unzureichend untersucht worden (Lyons et al., 2021). SMMs in HHTs entstehen durch wiederholte Interaktion, explizite Kommunikation sowie gemeinsame Aufgaben- und Rollenkenntnis, wodurch sich individuelle Wissensstrukturen schrittweise angleichen und implizite Koordination ermöglichen (Klimoski & Mohammed, 1994). Diese kognitive Konvergenz verbessert die Vorhersagbarkeit, Abstimmung und Teamleistung insbesondere in dynamischen und kollaborativen Arbeitssituationen (Mohammed et al., 2010).

Der zentrale Unterschied zwischen HATs und HHTs liegt in der Beteiligung algorithmisch gesteuerter, agentenbasierter KI-Systeme, die – im Gegensatz zu menschlichen Teammitgliedern – weder über eine Intentionalität noch über ein implizites, erfahrungsbasiertes Verständnis von Teamdynamiken und situativen Kontexten verfügen (Smith & Osborn, 2008). Lyons et al. (2021) beschreiben solche Systeme als „machine teammates“ mit eigenständiger Handlungslogik in interdependenten Teamaufgaben. Vor diesem Hintergrund kann auf das CASA-Paradigma sowie darauf aufbauende Human-Media-Skripte als etablierte Bezugspunkte verwiesen werden, die erklären, warum menschliche Teammitglieder KI-Agenten in Interaktionen als soziale Akteure adressieren (Nass & Moon, 2000; Gambino et al., 2020). Für HATs ist dabei entscheidend, dass diese Skripte nicht automatisch zu konsistenten teamkognitiven Repräsentationen führen, sondern spezifische Voraussetzungen für die Ausbildung geteilter mentaler Modelle implizieren. Damit ist zu erwarten, dass SMMs in HATs nicht einfach aus HHT-Skripten von selbst entstehen, sondern gezielt entwickelt werden müssen.

Die bestehende Literatur zu Teamkognition, Mensch-Technik-Interaktion und Human-Autonomy-Teaming legt nahe, dass der Frage expliziter Rollenkenntnis des Menschen in Bezug auf die KI eine zentrale Bedeutung für die Ausbildung von SMMs in HATs zukommt. Unklare Rollenverteilungen können Informationsüberflutung oder Informationslücken erzeugen und Teamleistung beeinträchtigen (Bernardy et al., 2019; Toups et al., 2009). Schelble et al. (2022) zeigen, dass SMMs, Leistung und Vertrauen in HATs gemeinsam variieren und dass Verfahren zur Erfassung von SMMs in HATs die agentenseitige Perspektive bislang nur begrenzt berücksichtigen. Daraus folgt ein grundlegender theoretischer Klärungsbedarf: Die bestehende SMM-Forschung vernachlässigt bislang systematisch, dass in HATs weder eine explizite Rollenkenntnis noch Entscheidungslogiken der KI implizit geteilt sind. Ohne eine explizite Modellierung der Rollenkenntnis des Menschen in Bezug auf die KI sowie der agentischen Transparenz bleibt unklar, unter welchen Bedingungen sich belastbare SMMs in HATs überhaupt ausbilden können (Gambino et al., 2020; Lyons et al., 2021; Schelble et al., 2022).

4. Methodik

Der Beitrag folgt dem Ansatz integrativer Literaturanalyse, die über eine deskriptive Bestandsaufnahme hinausgeht und durch kritische Synthese neue konzeptionelle Perspektiven entwickelt (Elsbach & van Knippenberg, 2020). Diese Vorgehensweise ist insbesondere geeignet, um bestehende, teilweise fragmentierte Forschungsstränge systematisch zusammenzuführen und theoretisch weiterzuentwickeln. Ziel der Synthese ist es, zentrale Konzepte der Teamkognition aus der Forschung zu HHTs mit Ansätzen zur Mensch-KI-Kollaboration in Beziehung zu setzen und konzeptionell zu klären, wie SMMs, Rollenverständnis und Transparenz in HATs zusammenwirken.

Der Review Space wird durch zwei komplementäre Begründungen bestimmt. Erstens liegt SMMs in HHTs eine reife, empirisch fundierte Literatur vor, deren Übertragbarkeit auf HATs bislang nicht konzeptionell geklärt ist. Zweitens befindet sich die Forschung zu Human-Autonomy-Teaming und Human-Agent-Teams in einem dynamischen Entwicklungsstadium, das eine initiale integrative Synthese zentraler Konstrukte, Mechanismen und Grenzbedingungen erfordert (Lyons et al., 2021; Schelble et al., 2022).

In die Analyse werden theoretische und empirische Arbeiten aus drei Forschungsdomänen einbezogen: (1) Teamkognition und SMMs in HHTs (z. B. Klimoski & Mohammed, 1994; Mohammed et al., 2010; Stout et al., 1999), (2) Human-Autonomy-Teaming und Human-Agent-Teams (Lyons et al., 2021; Schelble et al., 2022) sowie (3) Forschung zu sozialen Zuschreibungen und Interaktionsskripten in der Mensch-Technik-Interaktion (Gambino et al., 2020; Nass & Moon, 2000; Schank & Abelson, 1977).

Die Synthese erfolgte entlang zentraler SMM-Komponenten aus HHTs (Ziel-, Aufgaben-, Rollen- sowie Koordinationsmodelle) und wurde um HAT-spezifische Anforderungen wie agentische Entscheidungslogiken, Transparenz und dynamische Rollenverteilung ergänzt. Widersprüchliche Befunde und offene Fragen werden dabei gezielt genutzt, um Grenzbedingungen der Übertragbarkeit zu identifizieren und in einem konsolidierten Rahmenmodell zusammenzuführen.

5. Ergebnisse: Rahmenmodell zur Anpassung von SMMs an HATs

Die Ergebnisse der integrativen Analyse lassen erwarten, dass zentrale Komponenten von SMMs aus der Forschung zu HHTs auch für HATs grundlegend bleiben. Dazu zählen gemeinsame Zielrepräsentationen, ein geteiltes Aufgaben- und Situationsverständnis, Rollen- und Zuständigkeitsmodelle sowie Koordinations- und Kommunikationsregeln (Klimoski & Mohammed, 1994; Mohammed et al., 2010). Diese Komponenten ermöglichen antizipatives Handeln, reduzieren Koordinationsaufwand und unterstützen Teamadaptation in dynamischen und interdependenten Arbeitssituationen (Burke et al., 2006; Kozlowski & Ilgen, 2006).

Für HATs sind diese SMM-Bestandteile jedoch nicht hinreichend, sobald ein KI-Agent als nicht-menschlicher Teampartner mit eigener Entscheidungslogik eingebunden ist (Lyons et al., 2021). Die Synthese der Literatur weist auf zusätzliche Anforderungen hin, die sich aus der agentischen Natur der KI ergeben. Dazu zählen erstens ein geteiltes Verständnis der maschinellen Entscheidungslogik, etwa in Bezug auf Priorisierungskriterien, Datenabhängigkeiten oder Grenzfälle. Zweitens ist eine agentische Transparenz erforderlich, die die Nachvollziehbarkeit maschineller Empfehlungen und Entscheidungen für menschliche Teammitglieder ermöglicht. Drittens bedarf

es eines dynamischen Rollenmodells, das situativ zwischen menschlicher Entscheidungshoheit und maschineller Unterstützung kalibriert.

Empirische Befunde zeigen, dass fehlende Rollenklarheit und mangelnde Transparenz in HATs zu Fehlkalibrierungen von Vertrauen, Informationsverarbeitung und Koordination führen können und dadurch sowohl die Ausbildung von SMMS als auch die Teamleistung beeinträchtigen (Bernardy et al., 2019; Schelble et al., 2022; Toups et al., 2009). Vor diesem Hintergrund kristallisiert sich die explizite Rollenkenntnis des Menschen in Bezug auf die KI als zentrale konzeptionelle Erkenntnis heraus.

Die explizite Rollenkenntnis übernimmt in HATs die Funktion einer notwendigen Ausgangsbedingung für die Ausbildung von SMMs. Sie verknüpft soziale Interaktionsskripte mit teamkognitiven Koordinationsanforderungen und beeinflusst, wie maschinelle Empfehlungen bewertet, Rückfragen initiiert und Entscheidungsprozesse im Team gestaltet werden. Das entwickelte Rahmenmodell erklärt damit, warum Teamleistung in HATs nicht allein von der Genauigkeit der KI abhängt, sondern von der Passung zwischen der expliziten Rollenkenntnis des Menschen in Bezug auf die KI, Qualität der SMMs und den jeweiligen Aufgabenanforderungen (Vaccaro et al., 2024).

6. Diskussion und Implikationen für die arbeitswissenschaftliche Gestaltung von Mensch-KI-Arbeitssystemen

Auf Basis des entwickelten Rahmenmodells präzisiert die vorliegende Analyse, unter welchen konzeptionellen Bedingungen die aus der Forschung zu HHTs etablierte SMM-Theorie auf HATs übertragbar ist. Zentrale SMM-Komponenten bleiben auch in hybriden Teams relevant, müssen jedoch um agentenspezifische Wissens- und Prozessanteile ergänzt werden. SMMs in HATs werden damit nicht als reine Übereinstimmungen menschlicher Teamkognitionen verstanden, sondern als Passung zwischen menschlichen Repräsentationen und der operativen Entscheidungslogik des KI-Agenten, wobei der expliziten Rollenkenntnis des Menschen in Bezug auf die KI eine Schlüsselrolle zukommt.

Theoretisch ist das entwickelte Rahmenmodell anschlussfähig an etablierte Team- und Arbeitsmodelle, insbesondere an das Input-Process-Output-Paradigma (Kozlowski & Ilgen, 2006) sowie an Konzepte der Teamadaptation (Burke et al., 2006), und erweitert diese um dynamische Rekalibrierungen von Rollen und Verantwortlichkeiten in Mensch-KI-Teams.

Für die arbeitswissenschaftliche Gestaltung von Mensch-KI-Arbeitssystemen folgt daraus, dass die technische Leistungsfähigkeit der KI allein keine hinreichende Bedingung für erfolgreiche Teamarbeit darstellt. Erforderlich sind vielmehr explizite Rollenkommunikation, transparente Interaktionsroutinen sowie Qualifizierungs- und Trainingsformate, die Entscheidungslogiken, Stärken und Grenzen der KI nachvollziehbar machen, etwa durch strukturierte Onboarding-Prozesse, klar definierte Übergabepunkte und geeignete Erklär- und Rückfrageoptionen.

Als konzeptioneller Beitrag unterliegt die Analyse den Grenzen integrativer Literaturanalyse. Die Ergebnisse beruhen auf der systematischen Synthese bestehender Befunde und stellen keine empirische Prüfung dar. Zudem variiert die Ausgestaltung von HATs in Abhängigkeit von Aufgabenstruktur, Autonomiegrad der KI und organisatorischem Kontext, wodurch die Übertragbarkeit des Rahmenmodells kontextsensitiv zu betrachten ist (Vaccaro et al., 2024). Der Beitrag leistet damit einen eigenständigen konzeptionellen Integrationsbeitrag zur Teamkognitionsforschung, indem er bestehende SMM-Ansätze aus der Forschung zu HHTs systematisch auf HATs überträgt.

7. Literatur

Bernardy, V., Müller, R., Röltgen, A. T., & Antoni, C. H. (2019). Entwicklung eines Instruments zur Unterstützung der Bildung geteilter mentaler Modelle in digitalen Teams. In GfA (Hrsg.), Frühjahrskongress 2019: Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten (Konferenzbeitrag).

Burke, C. S., Stagl, K. C., Salas, E., Pierce, L., & Kendall, D. (2006). Understanding team adaptation: A conceptual analysis and model. Journal of Applied Psychology, 91(6), 1189-1207. https://doi.org/10.1037/0021-9010.91.6.1189

Buxbaum, H.-J. (2020). Mensch-Roboter-Kollaboration (1st ed. 2020). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-28307-0

Elsbach, K. D., & van Knippenberg, D. (2020). Creating high-impact literature reviews: An argument for integrative reviews. Journal of Management Studies, 57(6), 1277–1289. https://doi.org/ 10.1111/ joms.12581

Gambino, A., Fox, J., & Ratan, R. A. (2020). Building a stronger CASA: Extending the computers are social actors paradigm. Human-Machine Communication, 1, 71–86. https://doi.org/ 10.30658/hmc. 1.5

Gauckler, C., & Werner, M. H. (2024). Künstliche Intelligenz als Herausforderung für die wissenschaftliche Kommunikation. Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde, 241(12), 1309–1321. https://doi.org/10.1055/a-2418-5238

Honeycutt, J. M., & Bryan, S. P. (2011). Scripts and communication for relationships. Peter Lang.

Klimoski, R., & Mohammed, S. (1994). Team mental model: Construct or metaphor? Journal of Management, 20(2), 403-437. https://doi.org/10.1177/014920639402000206

Kozlowski, S. W. J., & Ilgen, D. R. (2006). Enhancing the Effectiveness of Work Groups and Teams. Psychological Science in the Public Interest, 7(3), 77-124. https://doi.org/10.1111/j.1529-1006.2006.00030.x

Lyons, J. B., Sycara, K., Lewis, M., & Capiola, A. (2021). Human-Autonomy Teaming: Definitions, Debates, and Directions. Frontiers in Psychology, 12. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.589585

Mohammed, S., Ferzandi, L., & Hamilton, K. (2010). Metaphor no more: A 15-year review of the team mental model construct. Journal of Management, 36(4), 876-910. https://doi.org/10.1177/ 0149206309356804

Müller, R., Franke, J., Henrich, D., Kuhlenkötter, B., Raatz, A., & Verl, A. (2024). Handbuch Mensch-Roboter-Kollaboration (2., aktualisierte Auflage). Hanser. https://doi.org/10.3139/9783446474604

Nass, C., & Moon, Y. (2000). Machines and mindlessness: Social responses to computers. Journal of Social Issues, 56, 81-103. https://doi.org/10.1111/0022-4537.00153

Nass, C., & Steuer, J. (1993). Voices, boxes, and sources of messages: Computers and social actors. Human Communication Research, 19(4), 504–527. https://doi.org/10.1111/j.1468-2958.1993 .tb00311.x

Schank, R. C., & Abelson, R. P. (1977). Scripts, plans, goals, and understanding: An inquiry into human knowledge structures. Erlbaum.

Schelble, B. G., Flathmann, C., McNeese, N. J., Freeman, G., & Mallick, R. (2022). Let's think together! Assessing shared mental models, performance, and trust in human-agent teams. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 6(GROUP), 1–29. https://doi.org/10.1145/3492832

Smith, J. A., & Osborn, M. (2008). Interpretative phenomenological analysis. In J. A. Smith (Ed.), Qualitative psychology: A practical guide to methods (pp. 53–80). Sage.

Stets, J. E., & Burke, P. J. (2000). Identity theory and social identity theory. Social Psychology Quarterly, 63(3), 224-237. https://doi.org/10.2307/2695870

Stout, R. J., Cannon-Bowers, J. A., Salas, E., & Milanovich, D. M. (1999). Planning, shared mental models, and coordinated performance: An empirical link is established. Human Factors, 41(1), 61-71. https://doi.org/10.1518/001872099779577273

Toups, Z. O., Kerne, A., Hamilton, W., & Blevins, A. (2009). Emergent team coordination: From fire emergency response practice to a non-mimetic simulation game. In Proceedings of the ACM 2009 International Conference on Supporting Group Work (pp. 341-350).

Vaccaro, M., Almaatouq, A., & Malone, T. (2024). When combinations of humans and AI are useful: A systematic review and meta-analysis. Nature Human Behaviour. https://doi.org/10.1038/s41562-024-02024-1

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt Prof. Dr. rer. oec. Thomas Süße für die konstruktive Zusammenarbeit.

AI@Work – Eine Querschnittsanalyse der Auswirkungen von KI auf Personalmanagement, Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit europäischer Unternehmen

Gustav BÖSEHANS, Markus HARLACHER, Frank LENNINGS

ifaa - Institut für Angewandte Arbeitswissenschaft
Uerdinger Straße 56, D-40474 Düsseldorf

Kurzfassung: Künstliche Intelligenz (KI) hat in kurzer Zeit, sowohl auf europäischer Ebene als auch weltweit, einen hohen Stellenwert gewonnen. Konkurrenz, vor allem aus China und den USA, erhöht den Druck auf europäische Unternehmen eigene zukunftstaugliche KI-Lösungen zu entwickeln, um nicht den Anschluss zu verlieren und Abhängigkeiten auf diesem Gebiet zu vermeiden. Für europäische Unternehmen ist es daher von größter Bedeutung, mehr über die Herausforderungen, Chancen und Risiken in Bezug auf künstliche Intelligenz am Arbeitsplatz zu erfahren. Spezifische KI-Anwendungsfälle aus dem Projekt AI@Work sollen europäische und nationale Arbeitgebervertreter dabei unterstützen, ein besseres Verständnis für die Auswirkungen und Potenziale von KI-Nutzung zu erlangen. Drei exemplarische Anwendungsfälle werden hier vorgestellt.

Schlüsselwörter: Europäische Union, Experteninterview, künstliche Intelligenz, Personalmanagement, Produktivität, Wettbewerbsfähigkeit

1. Einleitung

In Deutschland zeigt eine Online-Befragung zum Thema „Künstliche Intelligenz in produzierenden Unternehmen“, dass rund 36% der Unternehmen bereits mindestens einen implementierten KI-Anwendungsfall vorweisen können (Harlacher et al., 2023). Dabei messen 45% der Unternehmen, die KI-Anwendungen geplant oder bereits realisiert haben KI entweder eine große oder eine sehr große Bedeutung zu.

Erste internationale Vergleiche der European Investment Bank zeigen, dass die EU-Länder vor allem im Bereich der Herstellung sogar deutlich vor den USA liegen (48% vs. 28%), was die Nutzung von Big data und KI angeht (EIB, 2025). Selbiges gilt für die Automatisierung durch Robotik (55% vs. 36%). Die USA übertreffen hingegen die europäischen Staaten in der Nutzung von IoT (Internet of things) Anwendungen, insbesondere in den Bereichen Dienstleistungen (64% vs. 45%) und Infrastruktur (66% vs. 50%). Bei der Nutzung von generativer KI gibt es allerdings kaum Unterschiede zwischen der EU und den USA (37% vs. 36%), auch wenn die meistgenutzten KI-Anwendungen aus den USA stammen (z.B., ChatGPT, Copilot, Gemini).

Neben der Konkurrenz aus dem Ausland kämpfen viele europäische Unternehmen mit zunehmendem Fachkräftemangel, mit teils gravierenden Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit und Produktivität der Unternehmen. In einer Umfrage der europäischen Kommission (EC, 2023) gaben mehr als die Hälfte kleiner und mittlerer Unternehmen (SMEs) an Schwierigkeiten zu haben Beschäftigte mit geeigneten Fähigkeiten zu finden (54%). Besonders davon betroffen ist die Suche nach Fachkräften aus Ausbildungsberufen, welche von einem Großteil der befragten Unternehmen als besonders schwierig zu rekrutieren angesehen wurden (38%). Um

dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken und die globale Wettbewerbsfähigkeit europäischer Unternehmen zu steigern, bietet KI weitreichende Möglichkeiten. Jedoch gibt es bisher keine großflächigen Studien, die den Nutzen von KI zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit belegen. Die Anwendungsfälle, die im Rahmen des Projektes AI@Work erhoben wurden, berichten über die Erfahrung von Unternehmen, die erfolgreich KI-Lösungen zur Unterstützung des Arbeitskräftemanagements oder zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und Produktivität implementiert haben. Zusammen bieten diese Anwendungsfälle erste Einsichten in das Potenzial von KI europäische Unternehmen zu entlasten und wettbewerbsfähiger zu machen.

2. Methode

Um spezifische Anwendungsfälle zu erheben, wurden im Zeitraum von Juli bis Oktober 2025 semi-strukturierte Experteninterviews mit elf in der EU ansässigen Unternehmen durchgeführt (siehe auch Abbildung 1). Die Dauer eines Interviews bewegte sich im Rahmen von 45 bis 60 Minuten. Voraussetzung für die Interviewteilnahme war, dass die KI-Anwendungsfälle des Unternehmens seit mindestens einem Jahr in Betrieb sind. Etwa die Hälfte der Anwendungsfälle bezog sich hierbei vor allem auf Anwendungen im Bereich des Personalmanagements, während die andere Hälfte sich auf KI-Anwendungen bezog, die einen positiven Einfluss auf die Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens ausüben. Bei der Auswahl der Interviewpartner wurde großen Wert auf die Repräsentanz unterschiedlicher Sektoren gelegt, um einen möglichst breiten Überblick über die Auswirkungen von KI in verschieden Wirtschaftszweigen zu gewinnen.

***Abbildung 1**: Übersicht der teilnehmenden Unternehmen geordnet nach Fokus: KI und Wettbewerbsfähigkeit (grün), KI und Arbeitskräftemanagement (blau) und weitere KI-Anwendungsgebiete (rot).*

Die übergeordneten Leitfragen für die Untersuchung waren:

- Wie erleichtert oder transformiert KI das Arbeitskräftemanagement?
- Wie kann KI eingesetzt werden, um die Produktivität und Wettbewerbs-fähigkeit europäischer Unternehmen zu steigern?
- Wie werden Mitarbeiter im Umgang mit KI geschult?
- Welche individuellen Fähigkeiten haben durch die Einführung von KI am Arbeitsplatz an Bedeutung gewonnen oder verloren?

3. Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten sind die wichtigsten Erkenntnisse aus drei der KI-Anwendungsfälle in Bezug auf die obigen Leitfragen zusammengefasst und mit Beispielen aus den selektierten Experteninterviews illustriert. Der erste KI-Anwendungsfall stammt aus dem Bereich Recruiting & Human Resources (The Adecco Group) und stellt dar, wie KI im Bewerbermanagement genutzt wird. Der zweite (Elea iC) und dritte Anwendungsfall (Sanofi) beschäftigen sich mit dem Einsatz von KI zur optimalen Entscheidungsfindung in Bauprojekten (z.B., Straßen- oder Tunnelbau), bzw. zur Forschung und Vermarktung von Pharmaprodukten.

3.1 KI und Arbeitskräftemanagement

KI spielt eine zunehmend große Rolle beim Arbeitskräftemanagement. Vom Bewerbermanagement, übers Onboarding, bis hin zum Entgegenwirken des Fachkräftemangels – KI bietet nicht nur Potential Mitarbeiter zu entlasten, sondern erweist sich zunehmend als Investition in die Zukunft des Unternehmens. Im Falle der Adecco Group, welche im Bereich Recruiting agiert, wird KI genutzt, um sowohl den Arbeitsalltag der Recruiter als auch die Erfahrung der Bewerber zu verbessern.

Es war für uns sehr wichtig, uns anzusehen, welche administrativen Aspekte der Arbeit, die unsere Recruiter täglich machen, wir durch KI entlasten können. Deshalb haben wir weltweit ein Tool namens Recruiter GenAI Suite eingeführt – es hat sieben Anwendungsfälle, die auf den Rekrutierungsprozess anwendbar sind. Unser Ziel war es, unseren Teams zu helfen, Kapazitäten aufzubauen, um die Arbeit zu tun, die sie lieben, nämlich den Aufbau bedeutungsvoller Beziehungen und das Investieren ihrer Zeit in wertvolle Aufgaben. – Interviewteilnehmer #1, Adecco Group

Zu den KI-unterstützten Aufgaben gehören unter anderem das Generieren oder Verfeinern von Jobbeschreibungen, das Formulieren von Interviewfragen, das Zusammenfassen und die Evaluation von Kandidatenprofilen, das Management von Lebensläufen, sowie das Zusammenfassen von Interview Transkripten oder Kandidatengesprächen.

3.2 KI und Wettbewerbsfähigkeit

KI kann über unterschiedliche Wege zu Wettbewerbsvorteilen führen. Übergreifend wird allerdings deutlich, dass KI insbesondere dazu geeignet ist repetitive, manuelle und zeitintensive Arbeitsprozesse entweder zu beschleunigen oder größtenteils zu automatisieren, sodass sich Mitarbeiter wichtigeren Aufgaben widmen können.

Bei der Tunnelausrichtungssuche werden einige tausend verschiedene Optionen überprüft. Menschen können das nicht tun. Ich sehe niemanden, der 25.000 oder mehr Lösungen unter unterschiedlich komplexen Bedingungen testen würde. Wir könnten auch rohe Gewalt einsetzen, aber wir würden keine praktikablen Lösungen finden. – Elea iC

Früher basierten Aktivitäten wie Analyse, Marketing und Marktintelligenz auf zeitaufwändigen manuellen Prozessen. Heute automatisieren KI-gestützte Tools die Datengenerierung und ermöglichen es den Mitarbeitenden, sich auf das zu konzentrieren, was wirklich zählt – überzeugende Erzählungen zu gestalten, strategische Entscheidungen zu treffen und bedeutende Erkenntnisse zu liefern, die Wirkung erzielen. Wir können nicht nur ihre Zeit optimieren, sondern Mitarbeitende

haben auch vor dem Start bessere Marketingeinblicke und entwickeln zusätzliche Fähigkeiten, weil sie ihre Zeit nicht mehr mit mühsamer manueller Arbeit aufwenden müssen. – Interviewteilnehmer #1, Sanofi Group

Doch auch Einsparungen von Kosten sind durch KI möglich, indem beispielsweise weniger Ausgaben für Marketingagenturen aufgewendet werden müssen.

Wir nutzen außerdem KI, um Werbematerial anzupassen, zu übersetzen und zu lokalisieren. Früher haben wir eine Agentur beauftragt, das Material zu übersetzen und zu übernehmen. Jetzt haben wir ein internes Projekt – Gen AI – das es lokalen Teams automatisch ermöglicht, Informationen in die globale Datenbank einzugeben. […] Wir erkannten, dass wir mit diesem Tool in nur zwei Monaten die Kosten und die Zeit unserer Mitarbeiter stark optimiert haben. – Interviewteilnehmer #1, Sanofi Group

Ebenso kann durch den Einsatz von KI die Qualität der Ergebnisse aus komplexen Prozessen verbessert werden, wie das Beispiel von Elea iC nahelegt.

Ich höre auch Meinungen von anderen Kollegen, und die von ihnen gemeldeten Vorteile beziehen sich auch auf die Ergebnisse – die Ergebnisse sind viel, viel besser. Mit digitalen Technologien kann man im Allgemeinen einige Dinge sehr schnell erledigen, aber in Bezug auf KI kann man die Ergebnisse verbessern. Wir können bessere Lösungen auf einer höheren Ebene schaffen. – Elea iC

3.3 Training für den effektiven und verantwortungsvollen Umgang mit KI

Beim KI-Training für Angestellte achten Unternehmen zunächst vor allem auf den verantwortungsvollen Einsatz von KI. Mitarbeiter werden gezielt geschult um KI-Kompetenz (AI literacy) aufzubauen und um Unternehmensrichtlinien zum KI-Einsatz zu verinnerlichen.

Es war für uns nicht verhandelbar, sicherzustellen, dass wir ein angemessenes und zugängliches Training bereitstellen. Wir begannen mit dem, was offensichtlich schien: globales verantwortungsvolles KI-Training. Wir wollten sicherstellen, dass wir unsere Kollegen mit unseren fünf Kernprinzipien der verantwortungsvollen KI verbinden: ethisch, menschenzentriert, transparent, sicher und gesetzestreu. Wir wollten sicherstellen, dass sie verstehen, was diese Prinzipien sind, wie wir sie in der Organisation anwenden, wie wir sie auf Innovationen anwenden und dass sie das verkörpern und anwendbar machen können, wenn sie KI nutzen. – Interviewteilnehmer #1, Adecco Group

Das KI-Kompetenztraining erfolgt dabei über diverse Angebote und Formate, wie beispielsweise Webinare oder Austauschmöglichkeiten mit lokalen Experten (siehe Beispiel Sanofi), und ist eng an den individuellen Wissensstand der Mitarbeiter angepasst (siehe Beispiel Adecco). Das regelmäßige Einholen von Feedback erlaubt es zudem etwaige Kompetenz- oder Wissenslücken zu identifizieren und zu schließen.

Wir haben einen KI-Monat veranstaltet, um sicherzustellen, dass alle bei Sanofi mit den digitalen Tools vertraut sind. Der KI-Monat beinhaltete spezielle Sitzungen mit lokalen Experten, die das Potenzial des Tools mit echten Beispielen darüber teilen, wie Menschen es nutzen können. Außerdem haben wir Expertenräume eingerichtet, die Mitarbeiter während der Arbeitszeiten betreten können. Die Räume sind kostenlos, für alle offen, und sie haben die Experten vor Ort, um sich auszutauschen und zu erkunden. […] Wir haben sogar interaktive Touchscreens in den Kaffeebereichen installiert – denn in Italien ist Kaffee mehr als nur ein Getränk, sondern Kultur. Indem wir KI-Tools dort platzieren, wo sich Kollegen natürlich treffen, machen wir Innovationen im Alltag zugänglich und schaffen Gelegenheiten, Erfahrungen

auszutauschen, Ideen zu wecken und uns gegenseitig in Echtzeit zu unterstützen. – Interviewteilnehmer #1, Sanofi Group

Als Organisation wussten wir, dass unsere Mitarbeitenden auf unterschiedlichen Erfahrungsstufen und auf unterschiedlichen Expertise-Ebenen im Bereich KI beginnen würden, und wir wollten sie dort abholen, wo sie auf ihrem Weg stehen. Deshalb haben wir eine globale KI-Kompetenzinitiative gestartet, die sich nach dem Stand ihrer persönlichen KI-Lernreise richtet, unabhängig von ihrer Rolle im Unternehmen. Daher variieren die Einstiegspunkte stark. Wenn Sie über ein höheres Maß an technischer Expertise verfügen, können Sie mit unserem fortgeschritteneren Lernweg beginnen. Wenn Sie ganz am Anfang Ihrer Reise stehen, unsicher sind, das Potenzial von KI nicht vollständig verstehen, oder Sie nicht wissen, wo Sie anfangen sollen – wir haben etwas für Sie. Wir wollen, dass sie die klaren Vorteile von KI erkennen, und das ist unsere Verantwortung – ihnen zu zeigen, was diese sind und wie sie davon profitieren können. – Interviewteilnehmer #1, Adecco Group

Doch auch Unternehmen selbst müssen mit den rasanten Veränderungen durch KI Schritt halten, um Wettbewerbsvorteile zu erzielen und zu festigen.

Das gesamte Feld entwickelt sich sehr schnell und erfordert ständiges Lernen, um im Spiel zu bleiben. – Elea iC

3.4 KI und Skills

Die durch KI herbeigeführten Veränderungen beeinflussen auch die Wertschätzung diverser Skills im Unternehmen. Im Recruiting ermöglicht der Einsatz von KI beispielsweise einen größeren Fokus auf zwischenmenschliche Beziehungen und hebt besonders soziale und soft Skills wieder in den Vordergrund. Domänenspezifisches Wissen bleibt von den Veränderungen durch KI jedoch größtenteils unberührt, wie zu erkennen am Beispiel von Elea iC.

Was zurzeit ganz oben auf der Liste steht, sind die Soft Skills – Neugier, kritisches Denken, strategisches Urteilsvermögen und Zusammenarbeit. – Interviewteilnehmer #1, Adecco Group

Wenn wir zu unserer Kernbelegschaft zurückkehren, den Personalvermittlern, die in einer Zweigstelle arbeiten, die versuchen, Zeitarbeiter zu rekrutieren, sie an eine Fabrik zu vermitteln, sind die meisten von ihnen von Natur aus sehr gesellig. Für viele Personalvermittler ist das der Grund, warum sie überhaupt in diese Arbeit eingetreten sind, weil sie den Kontakt mit den Kandidaten und Kunden genießen und die Abwechslung und die schnellen Kontakte wertschätzen. In diesem Sinne ermöglicht KI ihnen, zu ihren Stärken zurückzukehren, weil sie nun wieder diese sozialen Menschen sein können, statt Administratoren, die in erster Linie Excel-Zauberer sind. – Interviewteilnehmer #2, Adecco Group

In der Tunnelausrichtungssuche definieren wir, was für Entscheidungsträger wesentlich ist – das ist weder KI noch Entscheidungstheorie; Letztere werden lediglich verwendet, um nach optimaler Ausrichtung zu suchen. – Elea iC

4. Diskussion

Die analysierten Anwendungsfälle zeigen, dass KI-Anwendungen vor allem dazu geeignet sind, repetitive und zeitintensive Arbeitsprozesse zu reduzieren mit entsprechenden Steigerungen in Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit. Die

Reduktion oder Übernahme manueller Prozesse erlaubt es Mitarbeitenden sich auf wichtigere Aufgaben zu konzentrieren, was auch Auswirkungen auf die geforderten Skills der Mitarbeiter mit sich trägt. Insbesondere Soft Skills wie Neugierigkeit, kritisches Denken, und Kollaboration gewinnen an Stellenwert, während administrative Skills durch die wachsende KI-Nutzung zunehmend in den Hintergrund rücken. Auch die Entscheidungsqualität kann durch KI entscheidend verbessert werden, vor allem wenn große Mengen an Daten verarbeitet werden müssen, die die menschliche Informationsverarbeitungskapazität weit überschreiten. Im Arbeitskräftemanagement ergeben sich zusätzliche Vorteile durch die Nutzung von KI, wie das Verfassen von Jobbeschreibungen und eine Auswahl von Kandidaten, die weniger von verzerrten menschlichen Einflüssen geprägt ist und somit einen diverseren Kandidatenpool zur Folge hat. Um die Ergebnisse der KI-Anwendungsfälle auszuweiten, werden die AI@Work Projektpartner im Jahr 2026 eine EU-weite Umfrage in Umlauf bringen.

5. Literatur

European Commission (2023). Flash Eurobarometer 537 - SMEs and skills shortages. Survey requested by the European Commission, Directorate-General for Migration and Home Affairs and coordinated by the Directorate-General for Communication. Letzter Zugriff am 16.01.2026 über https://europa.eu/eurobarometer/surveys/detail/2961

European Investment Bank (2025). EIB Investment Survey 2025 – European Union Overview. Letzter Zugriff am 16.01.2026 über https://www.eib.org/files/publications/20250216-141025-econ-eibis-2025-eu-en.pdf

Harlacher, M, Feggeler, N, Peifer, Y, Ottersböck, N (2023) Produzierendes Gewerbe auf internationalem Niveau: Ergebnisse der Online-Befragung zum Thema „Künstliche Intelligenz in produzierenden Unternehmen“. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 118 (Issue 3), pp. 173-177. https://doi.org/10.1515/zwf-2023-1012

Danksagung: Die Autoren bedanken sich bei den Projektpartnern Ceemet - European Tech & Industry Employers, dem IW (Institut der deutschen Wirtschaft) Köln und dem European Employers´ Institute (EEI) für die Zusammenarbeit. Das Projekt AI@Work ist kofinanziert von der Europäischen Kommission (Project number: 101197619).

Für weitere Informationen zum Projekt und aktuelle Publikationen folgen Sie bitte:
https://eei-institute.eu/publications/project/ai-work/

Identifikation geeigneter Verfahren zur prospektiven Bewertung von Arbeitsaufgaben mit digitalen Assistenzsystemen hinsichtlich psychischer Belastung.

Svetlana WÄHNERT[1], Gritt OTT[2]

[1]Professur für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Dresden
Marschnerstraße 39, D-01307 Dresden
[2] CIMTT Zentrum für Produktionstechnik und Organisation
Technische Universität Dresden, Helmholtzstraße 7a, D-01062 Dresden

Kurzfassung: Ziel dieser Arbeit ist es, Verfahren zur Bewertung von Arbeitsaufgaben hinsichtlich potenzieller psychischer Belastungen zu identifizieren, die auf Tätigkeiten mit digitalen Assistenzsystemen anwendbar sind und prospektiv eingesetzt werden können, sodass resultierende Belastungen bereits anhand von Nutzungsszenarien erkennbar werden. Der Beitrag beschreibt die methodische Vorgehensweise der Verfahrensidentifikation und die daraus resultierenden Erkenntnisse.

Schlüsselwörter: prospektive Arbeitsaufgabengestaltung, digitale Assistenzsysteme, psychische Belastung

1. Einleitung/Motivation

Digitale Assistenzsysteme können unterschiedliche Auswirkungen auf Arbeitstätigkeiten haben (Bankins & Formosa, 2023). Im ersten Fall - *Replacement* - übernimmt die KI Aufgaben vom Menschen. Damit wird eine Entlastung von gefährdenden Tätigkeitsbestandteilen, Reduktion von Routinetätigkeiten und körperlich belastenden Tätigkeiten möglich. Im zweiten Fall - *Tending the Machine* - übernimmt die KI Aufgaben vom Menschen und der Mensch überstützt die Maschine. Im dritten Fall - *Amplifying* - unterstützt die Maschine den Menschen und erweitert dessen Fähigkeiten. Die Effekte auf die Belastungssituation sind in allen drei Fällen ambivalent.

Mit zunehmender Verbreitung digitaler Assistenzsysteme werden z. B. neue Anforderungen festgestellt, die in Belastungen münden können (u.a. Bretschneider et al., 2020; Ducki & Kötter, 2022; Wirth & Mache, 2023). Dragano et al. (2021) beschreiben beispielsweise *Technostress* als zentrale Folge der Digitalisierung und des Einsatzes von digitalen Assistenzsystemen. Beschäftigte berichten von erhöhter Arbeitsgeschwindigkeit, häufigen Unterbrechungen, Multitasking, verlängerten Arbeitszeiten und dem Druck, ständig erreichbar zu sein (Sonntag, 2018). Daraus leitet sich spezifischer Gestaltungsbedarf für die Mensch-Assistenzsysteme-Funktionsteilung ab.

Präventiv kommen in der Nutzungsphase der Assistenzsysteme wie bei anderen technischen Systemen mit zunehmender Häufigkeit Bewertungsmethoden zum Einsatz, die sich unter dem Begriff *Gefährdungsbeurteilung* subsumieren lassen und die die psychische Belastung berücksichtigen (Grün, 2025). Es gibt auch zahlreiche Gestaltungsempfehlungen (Bauer et al., 2019; Mütze-Niewöhner & Nitsch, 2020). Kaum thematisiert wird in der Literatur jedoch die Fragestellung, wie die Funktionen eines Assistenzsystems bewusst und frühzeitig zu beeinflussen ist. Bereits vor der Implementierung sollten potenzielle psychische Fehlbeanspruchungen erkannt und vermie-

den werden. Eventuell notwendige Korrekturen sind während der Nutzung u.U. kostenintensiv, nur als Verhaltensprävention oder überhaupt nicht mehr möglich. Hinzu kommt, dass moderne Arbeitssysteme durch kurze Einsatzzyklen geprägt sind, d. h. nur wenig Zeit für gestaltende Maßnahmen während der Nutzungsphase bleibt.

Im Rahmen laufender Forschungsarbeiten zu Assistenzsystemen greifen wir daher das Thema prospektive Arbeitsaufgabengestaltung analog zu Mütze-Niewöhner et al. (2023) noch einmal speziell für Assistenzsysteme im produktionsvorbereitenden Bereich auf. Folgende Anforderungen ergeben sich aus unserer Sicht an ein Verfahren zur prospektiven Arbeitsaufgabengestaltung:

- Auf Grundlage der durchgeführten Analyse lassen sich Gestaltungsempfehlungen für die technische Ausgestaltung des Assistenzsystems ableiten.
- Sie müssen für den Einsatz in einem interdisziplinären diskursiven Analyseprozess geeignet sein und dort insbesondere
- mit der im Entwicklungsprozess zwangsläufig noch gebotenen Unschärfe und Informationsdefizite umgehen können.

Analog zu Mütze-Niewöhner et al. (2023) konzentrieren wir uns auf Instrumente, die bereits beim Entwurf eines technischen Systems eine kriteriengeleitete psychologische Analyse und Bewertung von Arbeitsaufgaben unterstützen. Da die personenbezogene Analyse prinzipbedingt an Grenzen stößt, konzentrieren wir uns auf Verfahren zur bedingungsbezogenen Analyse, da sie direkt bei den arbeitsbedingten Einflussfaktoren ansetzt, die sich ggf. vorausschauend gestalten lassen. Speziell vor dem Hintergrund digitaler Assistenzsysteme sind die Verfahren außerdem zu prüfen hinsichtlich folgender Fragen:

- Wird die Verschiebung hin zu höheren psychischen Belastungen bzw. spezifischen sensorischen Belastungen durch die gegenwärtig verfügbaren Verfahren abgebildet?
- Welche Voraussetzungen müssen gegeben sein, um die verbesserten Verfahren anzuwenden?

Der Beitrag beschreibt die Recherche und Bewertung vorhandener Verfahren in Bezug auf diese Anforderungen.

2. Methoden

Das Vorgehen umfasst vier aufeinander aufbauende Schritte, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

Schritt1: Recherche. Zur Identifikation relevanter Verfahren wurden bestehende Sammlungen von Instrumenten zur Aufgabenbewertung im Hinblick auf psychische Belastungen herangezogen und mit einer eigenen Literaturrecherche ergänzt. Als Ausgangspunkt diente die *Toolbox Version 1.2* der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), eine Sammlung von Verfahren zur Erfassung und Bewertung psychischer Belastungen bei der Arbeit (Richter, 2010). Da diese den Stand von 2010 abbildet, wurde zur Berücksichtigung aktueller Entwicklungen ergänzend der *GB-Psych Kompass* herangezogen, ein vom Zentralinstitut für Arbeitsmedizin und Maritime Medizin (ZfAM) entwickeltes, kostenfreies Online-Tool, das fortlaufend aktualisiert wird und die Auswahl geeigneter Instrumente zur Erhebung psychischer Belastungen im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung unterstützt (ZfAM, 2025). Darüber hinaus wurde eine eigenständige systematische Literaturrecherche durchgeführt. Hierzu wurden zunächst für die Konzepte „psychische Belastung“, „prospektive Arbeitsana-

lyse“ und „datenbasierte Assistenzsysteme“ jeweils Synonymgruppen gebildet, innerhalb derer die einzelnen Begriffe mittels einer ODER-Verknüpfung kombiniert wurden. Die drei resultierenden Synonymgruppen wurden anschließend durch eine UND-Verknüpfung zu einem gemeinsamen Suchstring zusammengeführt. Ziel war es, zusätzliche, insbesondere neuere Verfahren zu identifizieren, die in den bestehenden Sammlungen noch nicht berücksichtigt sind.

Schritt 2: Auswahl der Verfahren. Auf Basis der Rechercheergebnisse aus den drei herangezogenen Quellen erfolgte zunächst eine Zusammenführung der identifizierten Verfahren und die Entfernung von Duplikaten. Anschließend erfolgte eine Eingrenzung der Verfahren anhand klar definierter Auswahlkriterien. Berücksichtigt wurden ausschließlich Verfahren, die ganz oder teilweise bedingungsbezogen ausgerichtet sind und somit psychische Belastungen der Arbeit erfassen, nicht jedoch individuelle Beanspruchung oder Beanspruchungsfolgen. Zudem musste eine wissenschaftliche Publikation zur Prüfung der Gütekriterien vorliegen. Ein weiteres Auswahlkriterium betraf die inhaltliche Abdeckung zentraler Merkmale menschengerechter Arbeit. Da die identifizierten Verfahren auf unterschiedlichen theoretischen Ansätzen basieren, war es erforderlich, ein einheitliches Referenzverständnis von „guter Arbeit“ festzulegen. Ausgangspunkt hierfür war die Annahme, dass grundlegende Merkmale gut gestalteter Arbeit auch unter Bedingungen der digitalisierten Arbeitswelt weiterhin Gültigkeit besitzen. Als geeigneter Referenzrahmen wurden daher etablierte Humankriterien herangezogen, die inhaltlich mit den Gestaltungsgrundsätzen einschlägiger ergonomischer Normen (z.B. DIN EN ISO 6385, 2016; DIN EN ISO 10075-2, 2000) übereinstimmen und zudem in aktuellen Forschungsarbeiten zur prospektiven Arbeitsgestaltung als zentrale Kriterien zur menschengerechten Gestaltung von Digitalisierungsprozessen identifiziert wurden (Mütze-Niewöhner et al., 2023). Entsprechend mussten die ausgewählten Verfahren mindestens sieben der folgenden acht Humankriterien abdecken: Anforderungsvielfalt, Autonomie, Denk- und Planungsanforderungen, hierarchische und zyklische Vollständigkeit, Kooperations- und Kommunikationserfordernisse, Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten, Rückmeldung sowie Verantwortung.

Schritt 3: Analyse auf Itemebene. Die verbliebenen Verfahren wurden anschließend auf Itemebene analysiert. In einer ersten Vorauswahl wurden Items, die eindeutig keinem Humankriterium zugeordnet werden konnten, ausgeschlossen. Für die verbliebenen Items wurde eine Befragung mit vier Experten zur vertieften Analyse durchgeführt. Hierzu wurden die Items den Humankriterien zugeordnet und innerhalb jedes Kriteriums in zufälliger Reihenfolge angeordnet. Dieses Vorgehen sollte Rückschlüsse auf die ursprünglichen Verfahren erschweren, auch wenn ein Wiedererkennen einzelner Items nicht vollständig ausgeschlossen werden konnte. Die befragten Personen verfügten über fachliche Expertise in den Bereichen Arbeitswissenschaft und Arbeitspsychologie und bewerteten jedes Item in Bezug auf folgende drei Kriterien:

- Zuordnung zu einem Humankriterium: Es wurde eingeschätzt, inwieweit das Item dem jeweils vorgegebenen Humankriterium entspricht. Hierzu standen vier Antwortoptionen zur Verfügung: (a) keine Zuordnung zu einem der Humankriterien („*Keines*“), (b) Zuordnung zu einem anderen Humankriterium („*Anderes*“), (c) eindeutige Zuordnung ausschließlich zum aktuellen Humankriterium („*Eindeutig*“) oder (d) Zuordnung zum aktuellen sowie zu einem weiteren Humankriterium („*Kombiniert*“).
- Eignung für eine prospektive Bewertung: Es wurde eingeschätzt, ob das Item für eine prospektive Bewertung geeignet ist. Die Antwortoptionen lauteten „*Nein*“, „*Teilweise*“ oder „*Ja*“.

- Anwendbarkeit auf datenbasierte Assistenzsysteme: Schließlich wurde beurteilt, ob das Item zur Bewertung datenbasierter Assistenzsysteme herangezogen werden kann. Auch hier standen die Antwortoptionen „*Nein*“, „*Teilweise*“ oder „Ja*“* zur Verfügung.

Schritt 4: Bewertung der Verfahren. Die Bewertungen wurden pro Item zusammengeführt, indem der Modalwert der drei Expertenurteile bestimmt wurde. Konnte kein Modalwert ermittelt werden, wurde zusätzlich das Urteil des vierten Experten herangezogen. Zur Ableitung von Aussagen auf Verfahrensebene wurde anschließend der relative Anteil der entsprechenden Bewertungen berechnet.

3. Ergebnisse

Im Rahmen der Recherche (Schritt 1) wurden insgesamt 166 Verfahren identifiziert, davon 97 aus der Toolbox, 62 aus dem GB-Psych Kompass und 7 aus der ergänzenden Literaturrecherche. Nach der Entfernung von Duplikaten und der Anwendung der definierten Einschlusskriterien (Schritt 2) verblieben acht Verfahren: (1) AABR: Analyse von arbeitsbedingten Belastungen und Ressourcen (Lothaller, 2017a), (2) BASA IV: Psychologische Bewertung von Arbeitsbedingungen – Screening für Arbeitsplatzinhaber IV (BASA-Netzwerk, o. J.), (3) IAAB: Integrierte Analyse arbeitsbedingter Belastungen (Lothaller, 2017b), (4) REBA: Rechnergestützte psychologische Bewertung von Arbeitsinhalten (Pohlandt et al., 1999), (5) SPA-S: Screening psychischer Arbeitsbelastungen – Situation (Metz & Rothe, 2017), (6) TAA: Tätigkeits- und Arbeitsanalyseverfahren (Glaser et al., 2020), (7) TAG-MA: Verfahren zur Tätigkeitsanalyse und -gestaltung bei mentalen Arbeitsanforderungen (Rau et al., 2021) sowie (8) TBS-GA: Tätigkeitsbewertungssystem – Geistige Arbeit (Hacker & Richter, 2003).

Die anschließende Analyse auf Itemebene und die Bewertung der Verfahren (Schritt 3 und 4) führten zu den in Abbildung 1 dargestellten Ergebnissen. Die Interrater-Reliabilität (Gwet’s AC2, Gwet, 2014) unterschied sich je nach Verfahren und Bewertungskriterium. Bezogen auf die drei Bewertungskriterien zeigten insbesondere die Verfahren REBA und TBS-GA die höchsten relativen Anteile und erwiesen sich somit als am besten geeignet.

4. Diskussion und Fazit

Es zeigt sich, dass aktuell kein vollumfängliches, wissenschaftlich validiertes Verfahren identifiziert werden kann, das die genannten Anforderungen erfüllt. Wie Abbildung 1 zeigt, bestehen nach Expertenbeurteilung Defizite hinsichtlich der Anwendbarkeit auf Assistenzsysteme. Für die prospektiven Bewertung wird ein bestimmtes Informationsdargebot zum Assistenzsystem vorausgesetzt. Zur Problemlösung wird daher auf eine Methode hingearbeitet, die den Bewertungsprozess im Entwurfsverlauf auf eine transparente Diskussionsgrundlage stellt. Angedacht hierzu ist ein szenariobasiertes Vorgehen, das die Funktionalität des Assistenzsystems und der damit zu lösenden Aufgabenstellung in Form von Use Cases mit Schwerpunkt auf die Funktionsteilung zwischen der beschäftigten Person und dem Assistenzsystem für den gedachten Einsatzfall abbildet. Die für den Einsatzfall wahrscheinlichen organisatorischen und personellen Rahmenbedingungen, die sich einer prospektiven Bewertung entziehen, werden in Personas integriert. Für sie werden Annahmen in positiver Ausprägung getroffen, die dann im Einführungsprozess explizit zu beachten sind.

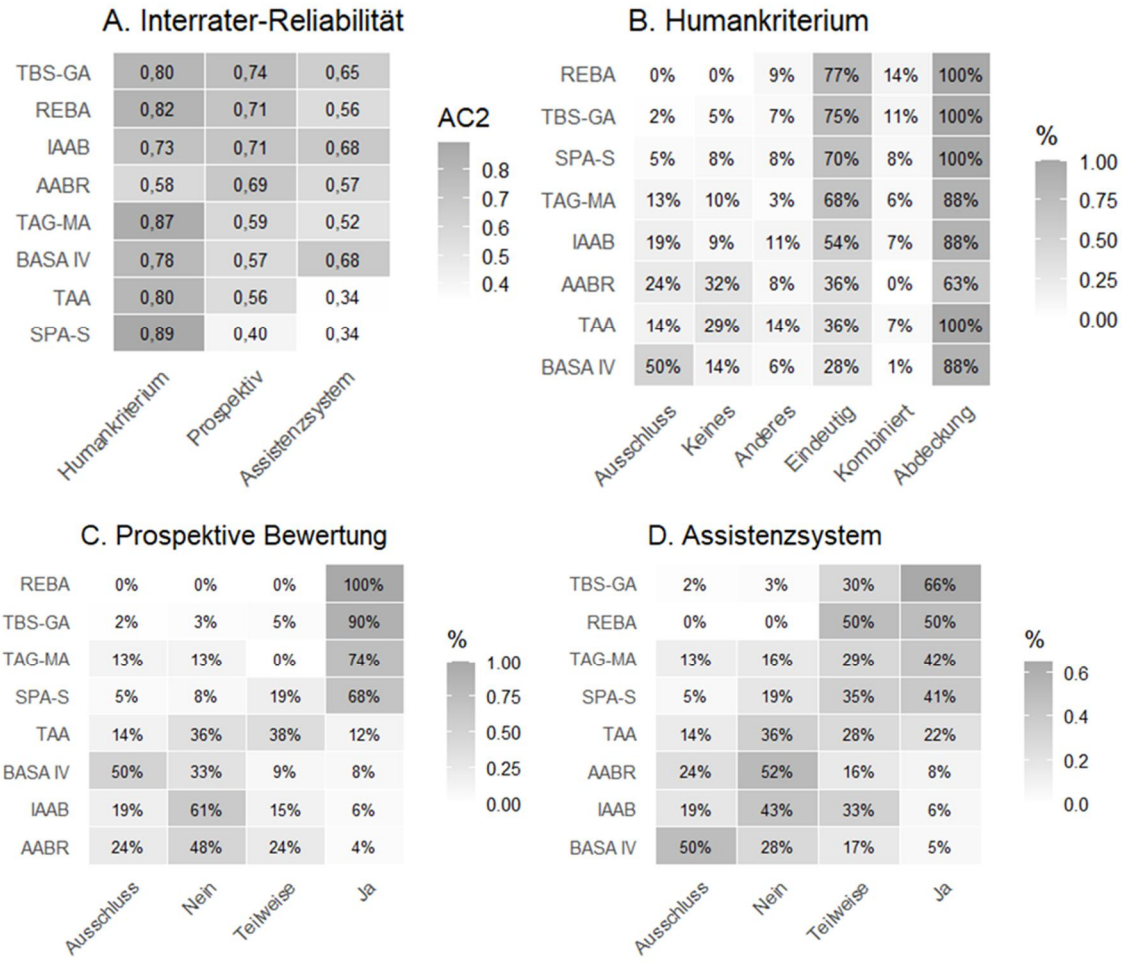


***Abbildung 1**: A: Interrater-Reliabilität aufgeteilt nach Verfahren und Bewertungskriterium. B bis D: Expertenschätzungen in Bezug auf die drei Bewertungskriterien, jeweils aufgeteilt nach Verfahren und Antwortoption. „Ausschluss" bedeutet, dass das Item in der Vorauswahl bereits als keinem Humankriterium zugehörig eingeordnet und somit für die weitere Analyse ausgeschlossen wurde. „Abdeckung" entspricht dem Anteil an den acht Humankriterien, die anhand der verbliebenen Items abgedeckt werden (z. B. 7 von insgesamt 8 Humankriterien = 88%). Reihenfolge der Verfahren entspricht den absteigenden Werten in den Spalten Prospektiv (A), Eindeutig (B) und Ja (C, D).*

Die Weiterentwicklung der als geeignet eingeschätzten Verfahren ist durch Formulierung von Items auf Basis eigener Fallbeispiele vorgesehen, die die Besonderheit von Assistenzsystemen deutlicher abbilden. Dieses Maßnahmenkonstrukt unterstützt die frühzeitige Erkennung und Anpassung potenziell belastender Faktoren und stärkt letztendlich Akzeptanz, Vertrauen und Kompetenzerleben der Beschäftigten beim Einsatz digitaler Assistenzsysteme.

5. Literatur

Bankins, S., & Formosa, P. (2023). The Ethical Implications of Artificial Intelligence (AI) For Meaningful Work. *Journal of Business Ethics*, *185*(4), 725–740. https://doi.org/10.1007/s10551-023-05339-7

BASA-Netzwerk. (o. J.). *BASA IV: Psychologische Bewertung von Arbeitsbedingungen – Screening für Arbeitsplatzinhaber*. Hochschule Zittau/Görlitz. Abgerufen 22. Dezember 2025, von https://basa.hszg.de/

Bauer, W., Stowasser, S., Mütze-Niewöhner, S., Zanker, C., & Brandl, K.-H. (Hrsg.). (2019). *Arbeit in der digitalisierten Welt: Stand der Forschung und Anwendung im BMBF-Förderschwerpunkt*. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. https://doi.org/10.24406/publica-fhg-299690

Bretschneider, M., Drössler, S., Magister, S., Zeiser, M., Kämpf, D., & Seidler, A. (2020). Digitalisierung und Psyche – Rahmenbedingungen für eine gesunde Arbeitswelt. Ergebnisse des Projektes GAP. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, *74*(2), 63–75. https://doi.org/10.1007/s41449-020-00206-x

DIN EN ISO 6385: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen (Norm No. DIN EN ISO 6385:2016). (2016). Deutsches Institut für Normung (DIN).

DIN EN ISO 10075-2: Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 2: Gestaltungsgrundsätze (Norm No. DIN EN ISO 10075-3: 2000). (2000). Deutsches Institut für Normung (DIN).

Dragano, N., Riedel-Heller, S. G., & Lunau, T. (2021). Haben digitale Technologien bei der Arbeit Einfluss auf die psychische Gesundheit? *Der Nervenarzt*, *92*(11), 1111–1120. https://doi.org/10.1007/s00115-021-01192-z

Ducki, A., & Kötter, W. (2022). Gesundheitsförderliche Gestaltung von Arbeitsaufgaben und Arbeitssystemen. In A. Michel & A. Hoppe (Hrsg.), *Handbuch Gesundheitsförderung bei der Arbeit* (S. 233–249). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-28651-4_16

Glaser, J., Hornung, S., Höge, T., & Strecker, C. (2020). *Das Tätigkeits- und Arbeitsanalyseverfahren (TAA): Screening psychischer Belastungen in der Arbeit*. innsbruck university press.

Grün, F. C. (2025). *Bericht zur Betriebs- und Beschäftigtenbefragung 2023/24*. Gemeinsame Deutsche Arbeitsschutzstrategie (GDA). https://www.gda-portal.de/SharedDocs/Downloads/DE/25-06-24-Bericht-Betriebsbefragung.pdf

Gwet, K. L. (2014). *Handbook of Inter-Rater Reliability: The Definitive Guide to Measuring the Extent of Agreement Among Raters* (4. Aufl.). Advanced Analytics, LLC.

Hacker, W., & Richter, G. (2003). *Tätigkeitsbewertungssystem - Geistige Arbeit: Für Arbeitsplatzinhaber*. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.

Lothaller, H. (2017a). *PSYNDEX Tests Review für AABR - Analyse von arbeitsbedingten Belastungen und Ressourcen*. https://doi.org/10.23668/PSYCHARCHIVES.21069

Lothaller, H. (2017b). *PSYNDEX Tests Review für IAAB - Integrierte Analyse arbeitsbedingter Belastungen*. https://doi.org/10.23668/PSYCHARCHIVES.21068

Metz, A.-M., & Rothe, H.-J. (2017). *Screening psychischer Arbeitsbelastung: Ein Verfahren zur Gefährdungsbeurteilung*. Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-12572-1

Mütze-Niewöhner, S., & Nitsch, V. (2020). Arbeitswelt 4.0. In W. Frenz (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft* (S. 1187–1217). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58474-3_61

Mütze-Niewöhner, S., Willemsen, F., Mayer, C. M., & Duisberg, M. (2023). Partizipative und prospektive Arbeitsgestaltung – reloaded: Analyse und Gestaltung von Arbeitstätigkeiten im Kontext von Digitalisierung und Industrie 4.0. In *Hans-Böckler-Stiftung: Working Paper Forschungsförderung 296*. RWTH Aachen University. https://doi.org/10.18154/RWTH-2023-07256

Pohlandt, A., Richter, P., Jordan, P., & Schulze, F. (1999). Rechnergestütztes Dialogverfahren zur psychologischen Bewertung von Arbeitsinhalten (REBA). In H. Dunckel (Hrsg.), *Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren*. vdf Hochschulverlag.

Rau, R., Schweden, F., Hoppe, J., & Hacker, W. (2021). *Verfahren zur Tätigkeitsanalyse und -gestaltung bei mentalen Arbeitsanforderungen (TAG-MA)*. Asanger.

Richter, G. (2010). *Toolbox Version 1.2 Instrumente zur Erfassung psychischer Belastungen*. BAuA.

Sonntag, K. (2018). *Gesundheit und psychische Belastungen in der modernen Arbeitswelt*. Wissenschaftsjahr 2018: Arbeitswelten der Zukunft. https://www.wissenschaftsjahr.de/2018/index74bc.html?id=533

Wirth, T., & Mache, S. (2023). Gesundheitsförderliche Gestaltung von Digitalisierungsprozessen in Organisationen – Wissenschaftlicher Überblick von Anforderungen und Unterstützungsfaktoren für Beschäftigte. *ASU Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin*, *2023*(11), 727–735. https://doi.org/10.17147/asu-1-316850

ZfAM. (2025). *GB-Psych Kompass*. https://www.hamburg.de/iason/apps/gb-psych-kompass

Eignung generativer Agenten für die Prozessoptimierung in der Produktion

Magnus DAVID, Sven TACKENBERG, Jan-Phillip HERRMANN

Fachgebiet Industrial Engineering, Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe
Campusallee 12, D-32657 Lemgo

Kurzfassung: Dieser Beitrag präsentiert erste Ergebnisse zur Konzeption und Implementierung eines prototypischen Demonstrators, der „*generative Agents*“ für die autonome Fertigungssteuerung einsetzt. Solche Agenten basieren auf generativen Modellen zur Simulation eines glaubwürdigen individuellen menschlichen Verhaltens. Das gewählte Anwendungsszenario umfasst eine in Unity realisierte Simulationsumgebung, in der generative Agenten durch Interaktion mit dem Large Language Model (LLM) „*Llama*“ Fertigungsaufträge eigenständig bearbeiten. Die durchgeführte Simulationsstudie zeigt, dass generative Agenten in der Lage sind, die Produktionsplanung und -steuerung über mehrere Schichten hinweg autonom durchzuführen.

Schlüsselwörter: Generative Agents, Human-centered Computing, Large Language Models, Produktionsplanung und -steuerung

1. Einleitung

Die Veröffentlichung „*Generative agents: Interactive simulacra of human behavior*“ von Park et al. (2023) ist als ein Meilenstein in Bezug auf die KI-gestützte Entwicklung und Beschreibung des Verhaltens von generativen Agenten anzusehen. Solche Agenten sind Computer-Software-Agenten, die glaubwürdiges, individuelles menschliches Verhalten. als auch emergentes Gruppenverhalten simulieren (Park et al. 2023). Entsprechend erinnern sich generative Agenten an vergangene Tage und reflektieren diese, während sie den nächsten Tag planen. Hierzu „nutzen“ die Agenten die Funktionen von Large Language Models (LLM) und Generative Artificial Intelligence (genAI), wie z.B. Llama, ChatGPT oder Gemini. Jedoch fehlt es bisher an einer Überführung dieses Ansatzes auf industrielle Anwendungen, wie beispielsweise einen Auftragsabwicklungsprozess. Somit kann keine Aussage darüber getroffen werden, inwieweit generative Agenten Arbeitspersonen repräsentieren können und in der Lage sind, eigenständig eine Produktion zu planen und zu steuern. Hieraus leitet sich die Fragestellung ab, ob es gelingen kann, die generativen Agenten zu „Dirigenten der Produktion“ zu machen. Der vorliegende Beitrag stellt eine Simulationsumgebung und Ergebnisse einer Simulationsstudie vor, in der Agenten mit einer generativen KI interagieren, um Arbeitsaufgaben einer Fertigung autonom auszuwählen und zu bearbeiten.

2. Generative Agents – eine Einführung

Zur Ableitung von Anforderungen an die Simulationsumgebung und zur Identifizierung bestehender Lösungsansätze ist eine systematische Literaturanalyse zu den Themenfeldern „*Generative Agents*“ und „*Behavioral Cloning*“ im Oktober 2025 durchgeführt worden. Die Recherche erfolgte mit dem Suchstring „*generative Agents*“ OR „*behavioral cloning*“ unter Einbezug der Datenbanken „*arXiv*“, „*SpringerLink*“ und „*ACM Digital Library*“.

Die von Park et al. (2023) vorgestellte Architektur für generative Agenten ermöglicht es, jedem Agenten einen eigenständigen Charakter sowie ein eigenes Gedächtnis (Memory Stream) zuzuordnen. Ein Agent kann mit Hilfe des Memory Streams vergangene Ereignisse reflektieren, um daraus zukünftige Handlungen abzuleiten, so dass ein konsistentes und kontextabhängiges Verhalten entsteht. Zhang et al. (2025) erweitern dieses Konzept, indem sie die kooperative Nutzung solcher Gedächtnisstrukturen durch mehrere Agenten in Multi-Agentensystemen zulassen.

Für die Simulation des Verhaltens von Arbeitspersonen in einer Fertigung bedarf es der Abbildung von Personenmerkmalen sowie eines individuellen Gedächtnis. Zudem ist die textbasierte Entscheidungslogik der Agenten mit dem virtuellen Fertigungssystem zu verbinden, in dem die Agenten agieren. Geeignete Ansätze finden sich bei Lu et al. (2024) und Xu et al. (2025), die eine Einbettung LLM-basierter Agenten in interaktive Simulationsumgebungen untersuchen. So sind über definierte Schnittstellen Eingaben in Form von Prompts aus der zu entwickelnden Simulationsumgebung (z. B. verfügbare Aufgaben, Kompetenzen der Arbeitsperson) an das Sprachmodell zu übergeben, während die vom LLM erzeugten Ausgaben Handlungen der Agenten innerhalb der virtuellen Fertigung auslösen. Ein Framework zur natürlichen Sprachinteraktion zwischen mehreren LLM basierten Agenten wird von Li et al. (2023) vorgestellt. Für die in diesem Beitrag vorgestellte Simulationsumgebung ist nur ein reduziertes Konzept implementiert worden, welches sich auf die individuelle Interaktion zwischen Agent und Fertigungssystem beschränkt.

Veränderungen des Verhaltens von Agenten über einen Zeitraum ist das Ergebnis von Lernmechanismen, die auf den Prinzipien des Behavioral Clonings basieren (Zhang et al. 2018). Bei einem solchen Ansatz wird das Verhalten der Agenten nicht explizit programmiert, sondern durch Nachahmung vorhandener Beispiele oder vorgegebener Abläufe erlernt. Kommt es zu einer Integration von Bewertungs- oder Belohnungsmechanismen kann dies zu einer höheren Verhaltensstabilität und Effizienz beitragen. Da dieser Beitrag die Architektur, Entscheidungslogik und Kommunikationsstruktur der generativen Agenten betrachtet, ist zunächst auf die Entwicklung komplexer Lernverfahren verzichtet worden.

Für die Analyse und Bewertung des Verhaltens von Agenten können die Kriterien von Fu et al. (2021) und Immorlica et al. (2024) herangezogen werden. So sind neben der Beurteilung der Qualität des Entscheidungsverhaltens, die Reaktions-geschwindigkeit und die Kohärenz zwischen Gedächtnis, Kommunikation und Handlungsausführung zu evaluieren.

3. KI-gestütztes Simulationsmodell

Die Simulationsumgebung basiert auf einer modularen Systemarchitektur, die eine autonome Interaktion von KI-gesteuerten Agenten in einem virtuellen Fertigungs-system ermöglicht. Als LLM ist das externe Framework Ollama genutzt worden,

welches die lokale Ausführung von LLM-Instanzen ermöglicht und über eine *http*-basierte API angesprochen werden kann. Bei dem in der Simulationsumgebung verwendeten Modell handelt es sich um das vom Unternehmen Meta veröffentlichtes Open-Source Sprachmodell Llama 3.2, welches lokal installiert und vollständig offline betrieben werden kann. Durch die lokale Installation ist eine gleichbleibende Leistungscharakteristik für Simulationsstudien gewährleistet, da Effekte durch Modellaktualisierungen oder serverseitige Anpassungen – wie sie bei externen Cloud-LLMs auftreten können – ausgeschlossen sind.

Das Agieren eines individuellen Agenten in der Simulationsumgebung basiert auf einem „*Planungssystem*“, einem „*Wirksystem*“ und einem „*Navigationssystem*“. Das Planungssystem speichert agentenspezifische Zustands- und Charakterinformationen und steuert die Ableitung von Entscheidungen hinsichtlich der Aufgabenauswahl. Das Wirksystem initiiert und überwacht die Bearbeitung der ausgewählten Aufgaben an den Arbeitsplätzen der Fertigung, während das Navigationssystem die Bewegungen zwischen Arbeitsplätzen steuert. Die Agenten agieren hierbei als autarke Dirigenten der Produktion und führen die folgenden Handlungen eigenständig durch:

- Aufsuchen des Taskboards, falls keine Arbeitsaufgabe in der individuellen Aufgabenliste enthalten ist,
- Abruf aller ausführbaren Arbeitsaufgaben,
- Übergabe dieser Aufgaben an das LLM zur Entscheidungsfindung,
- Zuweisung der vom LLM ausgewählten Aufgabe an den Agenten,
- Auswahl und Aufsuchen eines zulässigen Arbeitsplatzes,
- Bearbeitung der Aufgabe durch Ausführung des entsprechenden Vorgangs,
- Rückmeldung der Aufgabenbearbeitung.

Die Steuerung des Modellverhaltens und somit der Agenten erfolgt über die explizite Instruktion im Prompt an das LLM. Eine solche Anfrage umfasst neben der Menge an ausführbaren Arbeitsaufgaben zusätzliche Informationen zum Agenten und zum aktuellen Zustand der Fertigung. Der semantische Kern des vom Agenten initiierten „Prompts“ lautet:

„*Your job is to help the player choose the most suitable WorkOrder. Choose ONLY ONE of the tasks and Return ONLY its uID!”*

Einen beispielhaften Prompt zeigt die Abbildung 1. Durch die restriktive Promptgestaltung in Verbindung mit einer Nachbearbeitung wird sichergestellt, dass die Antwort des LLMs ausschließlich die UID einer einzelnen Aufgabe enthält.

4. Ergebnisse der Simulationsstudie

Zur Evaluation des Entscheidungsverhaltens der Agenten werden fünf unabhängige Simulationsdurchläufe ausgeführt. Jeder Durchlauf umfasst einen Zeitraum von fünf Arbeitstagen mit jeweils sieben Stunden. Um eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse je Durchlauf sicherzustellen, werden alle zufallsbasierten Prozesse deterministisch initialisiert. Durch die identische a priori Festsetzung der Zeitpunkte der Freischaltung von Aufträgen und der Charakteristik der Arbeitsaufgaben je Arbeitstag und Simulationsdurchlauf lassen sich die Entscheidungen eines Agenten gezielt auf die Antworten des LLMs zurückführen. Die Produktionsumgebung wurde als Werkstattfertigung umgesetzt und weist eine konstante Anzahl an Arbeitsplätzen auf (s. Abbildung 2). In dieser Umgebung agieren drei autonome Agenten (Arbeitspersonen), die ihre Aufgaben unabhängig voneinander an einem Taskboard auswählen und anschließend an den Arbeitsplätzen bearbeiten. Hierbei verfügt jeder

Agent über ein eigenes Kompetenzprofil. Ziel der Studie war die Untersuchung des LLM-basierten Entscheidungsverhaltens im Hinblick auf die folgenden Fragen:

```
Payload: {
  "model": "llama3.2:latest",
  "messages": [
    {
      "role": "system",
      "content": "You are an AI assistant inside a factory setting RPG. Your job is to help the player choose the most suitable WorkOrder."
    },
    {
      "role": "system",
      "content": "Your own name is Clint Eastchimp. You dont like moving much. Pick tasks that are similar to your already selected tasks."
    },
    {
      "role": "system",
      "content": "The higher the qualification, the better the worker is at the task."
    },
    {
      "role": "system",
      "content": "currentTime : 7:12."
    },
    {
      "role": "user",
      "content": "Choose ONLY ONE of the tasks from 'Available WorkOrders'.Return ONLY its uID!"
    },
    {
      "role": "user",
      "content": "Available WorkOrders: [uID : D5V10 / task : Sort Parts / durationInMinutes : 5 / qualification : 2 / priority : Low / dueDate : 11:49 | ]"
    },
    {
      "role": "user",
      "content": "Return ONLY its uID!"
    }
  ],
  "stream": false
}
```

***Abbildung 1**: Beispiel eines Prompts zur Aufgabenauswahl durch einen Agenten.*

- Zu welchem Anteil lassen sich die Antworten des LLMs in konkrete Handlungen der Agenten überführen?
- Welche Aufgabenparameter beeinflussen das Entscheidungsverhalten der generativen Agenten?
- Wie konsistent und reproduzierbar ist das Entscheidungsverhalten der generativen Agenten über mehrere Simulationsdurchläufe?

Eine hinsichtlich Semantik und Syntax zulässige Rückmeldung des LLMs an einen Agenten umfasst ausschließlich die ID einer Arbeitsaufgabe. Aus dem Anteil der zulässigen Antworten $\hat{x}_i$ zur Gesamtheit der Antworten $\sum_{i \in A} x_i$ ergibt sich:

$$1 - \frac{\sum_{i \in A} \hat{x}_i}{\sum_{i \in A} x_i} = 1 - \frac{559}{4241} = 0{,}8682$$

Das LLM erzeugt Antworten, die zu 86,82% von den generativen Agenten in eine konkrete Handlung überführt werden können.

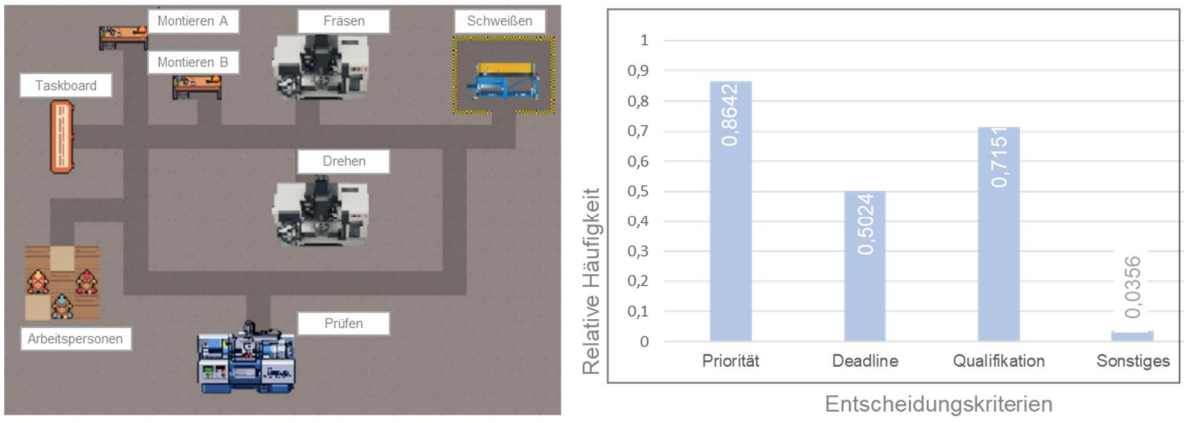


***Abbildung 2:** Virtuelle Produktionsumgebung und relative Häufigkeiten der Entscheidungskriterien.*

Mit der Rückmeldung einer Aufgaben-ID durch das LLM an einen Agenten wird dieser Aufgabe ein Label zugeordnet. Ein solches Label enthält ein einzelnes oder mehrere Kriterien, auf denen die Auswahl der Aufgabe aus der Menge der zu diesem Zeitpunkt ausführbaren Aufgaben basiert. In der Studie berücksichtigte Kriterien sind:

- Priorität: Es wird die Aufgabe mit der höchsten Priorität vom LLM ausgewählt.
- Deadline: Es wird die Aufgabe mit dem kürzesten Fertigstellungszeitpunkt ausgewählt.
- Kompetenz: Es wird die Aufgabe ausgewählt, für die der Agent die höchste Kompetenz aufweist.
- Sonstige: Die Auswahl lässt sich auf keines der anderen drei Kriterien zurückführen.

Die relativen Häufigkeiten der erfassten Kriterien für fünf Simulationsdurchläufe (3682 zulässige Rückmeldungen des LLMs) sind in Abbildung 2 rechts dargestellt. Der geringe Anteil von 3,5% für das Kriterium „*Sonstige*“ weist darauf hin, dass das LLM die Aufgabenauswahl auf Basis der bekannten Kriterien durchführt und nur selten eine nicht bestimmbare Auswahl vornimmt. Ergänzend ist mit dem Jaccard-Index (1901) untersucht worden, ob die Agenten an den fünf Tagen eines repräsentativen Simulationsdurchlaufs dieselben Arbeitsaufgaben ausgewählt haben. Hierbei waren die zu bearbeitenden Aufträge und die Zeitpunkte der Auftragsfreigabe an jedem Tag identisch. Sei A die von den Agenten an Tag *i* und B die Menge an bearbeiteten Aufgaben an Tag *i+1*:

$$J(A,B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}.$$

Die Jaccard-Werte liegen zwischen 0,82 und 0,94 (s. Abbildung 3 links). Trotz einer hohen Anzahl an Freiheitsgraden bleibt die Auswahl von Aufgaben und die damit verbundene Bearbeitung von Aufgaben durch die Agenten weitestgehend stabil. Ergänzend zum Jaccard-Index wird für den Simulationslauf die normalisierte Levenshtein-Distanz (Levenshtein 1966) berechnet:

$$D_{rel} = 1 - \frac{L(s_1, s_2)}{max(|s_1|, |s_2|)},$$

wobei $L(s_1, s_2)$ die minimale Anzahl an Operatoren (einfügen, ersetzen, löschen) beschreibt, die erforderlich sind, um die Entscheidungssequenz der Agenten eines Tages *i* in die Sequenz des Tages *i + 1* zu überführen. Für die Levenshtein-Distanz ergeben sich Werte im Bereich 0,53 bis 0,55 (s. Abbildung 3 rechts). Bei identischen Fertigungsabläufen lägen die Werte nahe eins. Die Simulationsergebnisse zeigen daher, dass bei identischen Zeitpunkten der Freischaltung von Aufträgen und einer kongruenten Aufgabencharakteristik das LLM Freiheitsgrade nutzt, um Aufgaben stochastisch auszuwählen. Aufgrund der hohen Jaccard-Werte resultieren die niedrigen Werte für die Levenshtein-Distanz insbesondere aus einer veränderten Sequenz der Aufgabenbearbeitung.

5. Diskussion und Ausblick

Der Beitrag zeigt auf der Grundlage der entwickelten Simulationsumgebung, dass das eingesetzte LLM (Lama 3.2) Kriterien basiert Arbeitsaufgaben für die Agenten auswählt, anstatt arbiträr zu handeln. Zudem konnte eine Auswahlgenauigkeit von 86,82% gemessen werden, was die technische Zuverlässigkeit der Promptgestaltung und der LLM-Schnittstelle belegt. Die Ergebnisse der Simulationsstudie geben einen ersten Hinweis, dass generative KI grundsätzlich in der Lage ist, eigenständig

nachvollziehbare und kontextsensitive Entscheidungen innerhalb einer Fertigung aus der Perspektive einer individuellen Arbeitsperson zu treffen. Die vom LLM gesteuerten Agenten reagieren systematisch auf veränderte Zustände der Fertigung, wählen überwiegend priorisierte Arbeitsaufgaben aus und zeigen damit ein Verhalten, das den Anforderungen an eine autonome Fertigungssteuerung in zentralen Aspekten entspricht. Für die vollständige Abbildung des Verhaltens von Arbeitspersonen in einer Produktion bedarf es aber noch der Erweiterung um Funktionen zur Kommunikation und Emotionsregulation der generativen Agenten.

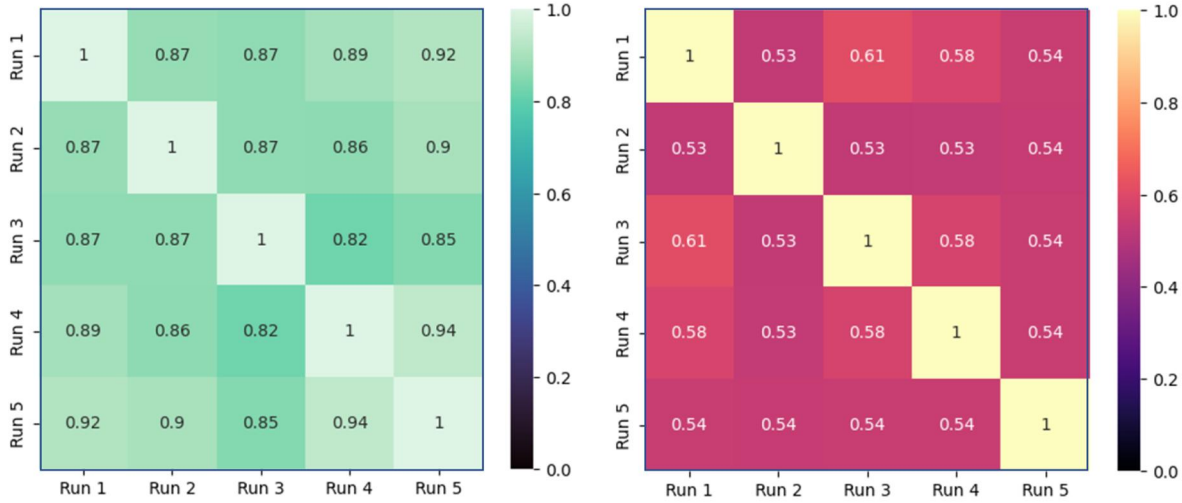


Abbildung 3: *Jaccard-Werte (links) und Werte der Levenshtein-Distanz (rechts).*

6. Literatur

Fu J, Tacchetti A, Perolat J, Bachrach Y (2021) Evaluating strategic structures in multi-agent inverse reinforcement learning. Journal of Artificial Intelligence Research 71: 925-951.

Immorlica N, Lucier B, Slivkins A (2024) Generative ai as economic agents. ACM SIGecom Exchanges 22.1: 93-109.

Levenshtein V I (1966) Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reveals. Soviet Physics Doklady 10: 707-710

Li Y, Sun L, Zhang Y (2023) Metaagents: Simulating interactions of human behaviors for llm-based tasked-oriented coordination. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction 9: 1-27.

Lu Y, Aleta A, Du C, Shi L, Moreno Y (2024) Llms and generative agent based models for complex systems research. Physics of Life Reviews 51: 283-293.

Jaccard P (1901) Étude comparative de la distribution florale dans une portion des alpes et du jura. Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles 37: 547-579.

Park J S, O'Brien J, Cai C J, Morris M R, Liang P, Bernstein M S (2023) Generative agents: Interactive simulacra of human behavior. Proceedings of the 36th annual acm symposium on user interface software and technology: 1-22.

Xu L, Zhang J, Li B, Wang J, Chen S, Zhao W X, Wen J-R (2025) Tapping the potential of large language models as recommender systems: A comprehensive framework and empirical analysis. ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data19 (5): 1-51.

Zhang Z, Dai Q, Bo X, Ma C, Li R, Chen X, Zhu J, Dong Z, Wen J-R (2025) A survey on the memory mechanism of large language model-based agents. ACM Transactions on Information Systems 43 (6): 1-47.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Schulung neu gedacht – Extended Reality und KI-Assistenzsysteme direkt im Arbeitsprozess

Lutz ENGEL[1], Lisa GERDES[2]

[1] Institut für Produktions- und Dienstleistungssysteme (IPD), Jade Hochschule Friedrich-Paffrath-Str. 101, D-26389 Wilhelmshaven
[2] Jade Hochschule, Friedrich-Paffrath-Str. 101, D-26389 Wilhelmshaven

Kurzfassung: Die Schulung und Assistenz neuer Mitarbeitender in der industriellen Produktion ist häufig zeit- und ressourcenintensiv. Der Beitrag zeigt, wie sich dieser Prozess durch die Kombination von Training Within Industry (TWI), Extended Reality (XR)-Technologien und digitalen Assistenzsystemen mit Künstlicher Intelligenz (KI) neugestalten lässt. Vorgestellt wird ein TWI-basiertes XR-Schulungssystem auf Basis von Unity 3D und der Meta Quest 3, das reale Arbeitsprozesse mit virtuellen Inhalten verbindet. Am Beispiel der „Montage eines Mähroboters" demonstriert der Prototyp praxisnahe Schritt-für-Schritt-Anleitungen, ergänzt durch Videos, 3D-Elemente und einen Chatbot als KI-Assistent zur Unterstützung des Lernprozesses. Das Projekt verdeutlicht das Potenzial von XR und KI für effiziente und praxisnahe Schulung im Arbeitsprozess.

Schlüsselwörter: Schulung, Training Within Industry, Extended Reality (XR), Unity 3D, Meta Quest 3, KI-Assistent

1. Einleitung

Die Schulung und die Assistenz neuer Mitarbeitender in der industriellen Produktion ist häufig zeit- und ressourcenintensiv. Dieser Konferenzbeitrag zeigt, wie sich dieser Prozess durch die Kombination von Training Within Industry (TWI), Extended Reality (XR)-Technologien, digitalen Assistenzsystemen mit Künstlicher Intelligenz (KI) effizienter und praxisnäher gestalten lässt. Die Schulung neuer Mitarbeitender wird dabei so konzipiert, dass sie vollständig ohne die direkte Anwesenheit einer schulenden Person durchgeführt werden kann. Durch den Einsatz von Gamification Elementen (z.B. Lernfortschrittsbalken) wird die Motivation zum Lernen gesteigert.

Im Zentrum der prototypischen Entwicklung steht ein TWI-basiertes Extended Reality (XR)-System zur Schulung des Arbeitssystems „Montage eines Mähroboters" direkt am Arbeitsplatz (Abbildung 1). Die lernende Person verfügt dabei über keine Vorerfahrung in der Montage. Der vorab standardisierte Arbeitsablauf wird in Schritt-für-Schritt-Anleitungen im Sichtfeld einer XR-Brille dargestellt und durch interaktive 3D-Elemente sowie digitale Assistenzfunktionen mit KI ergänzt. Ein Chatbot beantwortet Fragen, gibt Feedback und begleitet den gesamten Schulungsprozess. Auf diese Weise entsteht ein adaptives Schulungsumfeld, das auch für erfahrene Mitarbeitende attraktiv ist.

Der Prototyp des Schulungssystems wird von einer Studierenden des Wirtschaftsingenieurwesens ohne vertieften Informatik-Hintergrund mit Unity 3D und der XR-Brille Meta Quest 3 entwickelt. Für die Umsetzung sind rund 200 Arbeitsstunden eingeplant. Mit Unterstützung KI-gestützter Assistenzsysteme wie ChatGPT von OpenAI soll schrittweise eine komplexe XR-Anwendung realisiert

werden. Dieses Beispiel verdeutlicht zugleich, wie digitale Assistenzsysteme Entwicklungsbarrieren senken und interdisziplinäre Innovationen ermöglichen. Anpassungen des Montageablaufs sollen zukünftig direkt durch Wirtschaftsingenieurinnen und -ingenieure in das Schulungssystem integriert werden können.

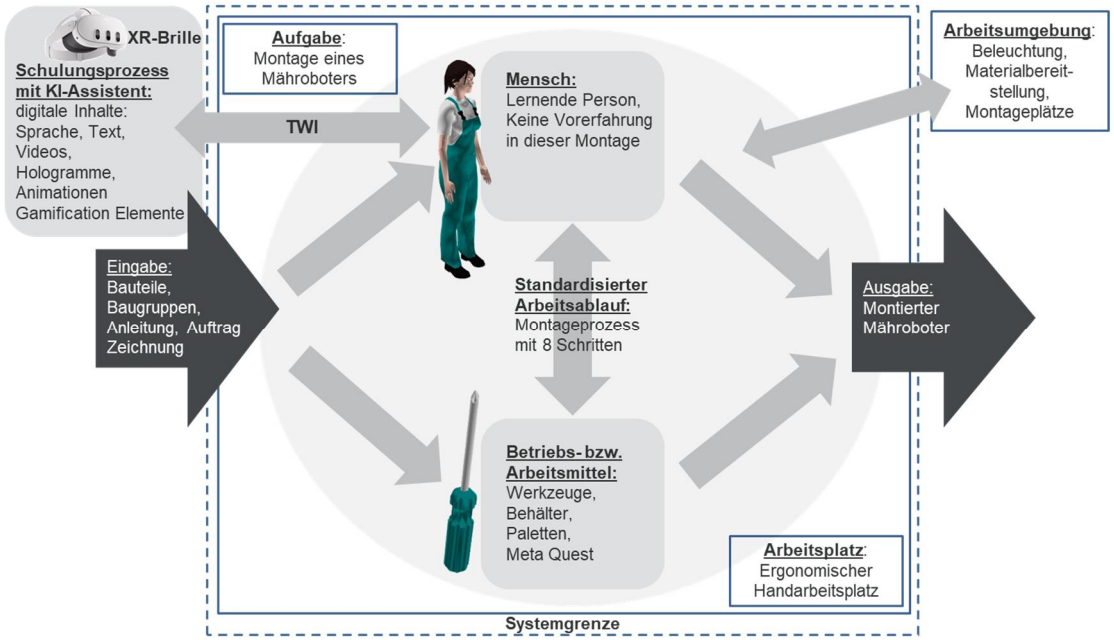


***Abbildung 1**: Arbeitssystem – Schulungssystem der Montage eines Mähroboters KI-Assistent (angelehnt an REFA-Arbeitssystem (vgl. REFA, o.D.).*

2. Stand des Wissens

In Vorarbeiten am Jade Institut für Produktions- und Dienstleistungssysteme (IPD) konnte empirisch nachgewiesen werden, dass der Einsatz von XR in Kombination mit TWI einen positiven Einfluss auf den Lernerfolg hat. Als analytische Grundlage diente dabei die Lernkurve. Diese Ergebnisse bilden eine zentrale Grundlage für die weitere Betrachtung von XR-Technologien, digitalen Assistenzsystemen sowie KI-Assistenz im industriellen Schulungskontext am IPD (Engel et al. 2023).

2.1 Training Within Industry

Das TWI-Programm umfasst vier zentrale Trainingsmodule für spezifische Kompetenzbereiche. Im Rahmen des hier entwickelten XR-gestützten Schulungssystems wird ausschließlich das Modul Job-Instruction betrachtet. Die methodische Umsetzung erfolgt in vier aufeinander aufbauenden Phasen (Abbildung 2). Ziel des Moduls ist es, neue oder unerfahrene Mitarbeitende so zu schulen, dass sie Arbeitsaufgaben sicher, fehlerfrei und qualitätsgerecht ausführen können. Der Fokus liegt ursprünglich auf der Befähigung von Teamleitenden, komplexe Arbeitsabläufe zu analysieren, zu standardisieren und strukturiert zu vermitteln, um eine schnelle und nachhaltige Schulung zu ermöglichen (Baroncelli & Ballerio 2016; Müller 2018).

1. Vorbereitung des Lernenden Heranführen an den Arbeitsprozess INTERESSE wecken, VORWISSEN aktivieren, ARBEITSPLATZ einrichten	**2. Demonstration der Tätigkeit** Ablauf erklären und vorführen SCHRITTE zeigen, SCHLÜSSELPUNKTE nennen, GRÜNDE für SCHLÜSSELPUNKTE nennen
3. Selbstständige Durchführung Festigung durch Ausführen SCHRITTE selbst ausführen, SCHLÜSSELPUNKTE nennen, GRÜNDE für SCHLÜSSELPUNKTE nennen	**4. Überprüfung und Begleitung** Verständnis sichern, Reflexion anregen FRAGEN beantworten, EIGENSTÄNDIGKEIT fördern

***Abbildung 2**: Struktur der TWI-Job-Instruction in vier Phasen (eigene Darstellung).*

2.2 Extended Reality und digitale Assistenzsysteme

Extended Reality (XR) beschreibt die Erweiterung der realen Umgebung durch digitale Inhalte, die in Echtzeit in das Sichtfeld der Nutzenden eingeblendet werden. Virtuelle Objekte werden räumlich verankert und interaktiv in die reale Umgebung integriert. Dadurch entsteht ein gemeinsamer Interaktionsraum, in dem reale und digitale Elemente kontextsensitiv miteinander verknüpft sind. Für industrielle Einarbeitung bietet XR die Möglichkeit, Arbeitsprozesse direkt am realen Objekt durch digitale Assistenzsysteme zu unterstützen. XR schafft interaktive Lernumgebungen, die abstrakte Abläufe greifbar machen und das Verständnis technischer Prozesse erleichtern (Orsolits & Lackner 2020; Mehler-Bicher & Steiger 2022).

Die Umsetzung entsprechender Anwendungen erfolgt häufig mit Unity 3D, einer leistungsfähigen, plattformübergreifenden Entwicklungsumgebung, die ursprünglich für die Spieleentwicklung konzipiert wurde und sich in den letzten Jahren zu einer zentralen Plattform für immersive XR-Technologien entwickelt hat (Brill 2023).

Die Meta Quest 3 ist ein Head-Mounted Display (HMD), das durch integrierte Kameras und Sensoren erweiterte XR-Funktionen bietet. Der Passthrough-Modus ermöglicht die Echtzeitdarstellung der realen Umgebung und bildet die Grundlage für die Überlagerung mit virtuellen Inhalten. Weitere Sensoren erlauben die präzise Erfassung von Raumgeometrie und Nutzerbewegungen, was insbesondere für positionsgenaue 3D-Anleitungen und sichere Interaktion im industriellen Umfeld relevant ist. Für die Interaktion unterstützt die Meta Quest 3 das sogenannte Direct Touch Hand Tracking, wodurch virtuelle Inhalte ohne physische Controller bedient werden können. Intuitive Handgesten ermöglichen das Greifen, Verschieben oder Skalieren digitaler Objekte. Ergänzend stehen Controller für Szenarien mit erhöhten Anforderungen an Präzision zur Verfügung (Meta 3, o. D.).

Digitale Assistenzsysteme dienen der situations- und kontextbezogenen Unterstützung von Mitarbeitenden bei der Ausführung komplexer Arbeitsaufgaben. Ziel ist es, Informationen bedarfsgerecht bereitzustellen, Fehler zu reduzieren und Lern- sowie Arbeitsprozesse effizienter zu gestalten (Schuh et al. 2017). Im industriellen Umfeld gewinnen dabei tragbare Systeme (Wearables) an Bedeutung, da sie eine freihändige, kontinuierliche Unterstützung ermöglichen. XR-Brillen wie die Meta Quest 3 fungieren hier als Wearables, die digitale Assistenzfunktionen unmittelbar in das Sichtfeld integrieren. Die Integration Künstlicher Intelligenz erweitert diese Systeme um adaptive und interaktive Funktionen. KI-basierte Assistenzsysteme sind in der Lage, Nutzeranfragen zu interpretieren, kontextabhängige Informationen bereitzustellen und Lernprozesse individuell zu unterstützen (Long & Magerko 2020). Insbesondere dialogbasierte Systeme, sogenannte Chatbots, werden zunehmend in

Lern- und Arbeitsszenarien eingesetzt, um als virtuelle Ansprechpersonen zu fungieren (Winkler & Söllner 2018).

3. Methodik, Umsetzung und Ergebnisse

Der didaktische Aufbau der Schulungsanwendung orientiert sich am Modul Job-Instruction des TWI-Konzepts. Die vier Phasen der Methode bilden die strukturierende Grundlage der Schulung und werden vollständig in eine XR-gestützte Lernumgebung übertragen. Ziel ist eine standardisierte, schrittweise und arbeitsplatznahe Vermittlung von Montageschritten unter Nutzung multimodaler Lernreize. Ergänzend kommen didaktische Prinzipien wie Selbstkontrolle, Wiederholung und direkte Rückmeldung zum Einsatz.

Die Umsetzung des TWI-basierten XR-Schulungssystems erfolgt in der Entwicklungsumgebung Unity 3D in Form eines modularen Systems, das die Schulungsinhalte sequenziell steuert. Die modulare Systemarchitektur ermöglicht eine Wiederverwendung der Schulungslogik für unterschiedliche Montageschritte und bildet eine skalierbare Grundlage für weitere industrielle Anwendungsszenarien. Zentrales Element der XR-Schulung sind vier virtuelle Fenster, die über dem Montagetisch auf Augenhöhe positioniert sind (Abbildung 3). Im linken Textfenster werden die Phasen der TWI-Methode schrittweise dargestellt. Nach dem Heranführen an den Arbeitsprozess folgen zunächst die Arbeitsschritte, anschließend die Schlüsselpunkte und schließlich deren Begründungen. Die methodischen Vorgaben der TWI-Job-Instruction werden dabei konsequent eingehalten.

Das mittlere Fenster zeigt kurze Videosequenzen der Montagetätigkeiten. Ergänzend kommen Animationen von 3D-Elementen zum Einsatz, die mit der realen Umgebung verschmelzen. In der Phase der selbstständigen Durchführung werden die Lernenden durch CAD-basierte Hologramme unterstützt. Halbtransparente Ghost-Objekte zeigen die korrekte Positionierung der Bauteile innerhalb des Mähroboters. Zusätzlich werden Werkzeuge animiert dargestellt, wobei Bewegungsrichtungen und Schraubvorgänge visuell hervorgehoben werden.

Das dritte Fenster dient der Lernkontrolle durch Multiple-Choice-Fragen, die per Handtracking beantwortet werden. Bei falscher Auswahl werden die zugehörigen Video- und Animationssequenzen automatisch wiederholt.

Ein KI-gestützter Chatbot, dargestellt im vierten Fenster, ergänzt die Anwendung als kontinuierliches Assistenzsystem. Er kann per Sprachbefehl aktiviert werden, wandelt Sprache in Text um und gibt Antworten sowohl textuell als auch auditiv aus. Der Chatbot steht während des gesamten Schulungsprozesses zur Verfügung, unterstützt insbesondere bei Verständnisfragen und greift auf spezifisches Wissen zum Arbeitsprozess zurück.

Die technische Steuerung der Anwendung übernimmt ein zentraler TrainingManager, der Inhalte und Interaktionen in der vorgesehenen Reihenfolge ein- und ausblendet. Die Bedienung erfolgt ausschließlich über Handtracking, sodass beide Hände für die reale Montage frei bleiben. Ergänzend kommen Gamification-Elemente wie Fortschrittsanzeigen und positives Feedback zur Motivationssteigerung zum Einsatz.

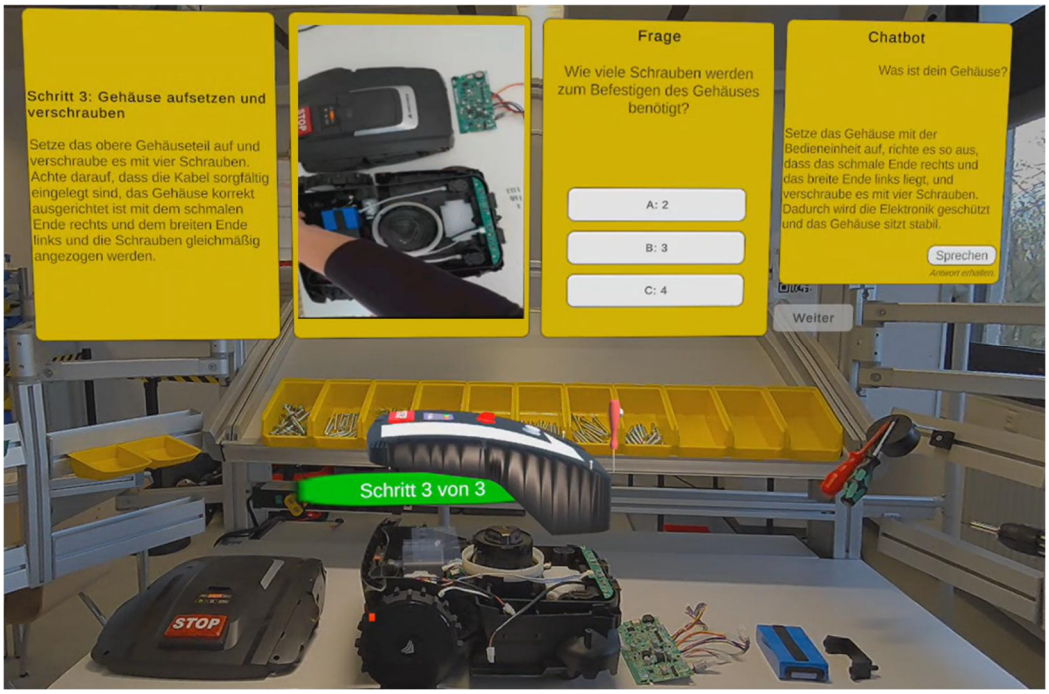


***Abbildung 3**: Sicht des Lernenden durch die Meta Quest 3 (eigene Bildschirmaufnahme).*

4. Evaluation und Diskussion

Der vorliegende Beitrag zeigt, wie sich arbeitsplatznahe Schulungen in der Montage durch eine TWI-basiertes Extended Reality (XR)-Schulungssystem mit KI-Assistenz verändern kann. Die Evaluation des Systems wurde mit drei Testpersonen am Jade Institut für Produktions- und Dienstleistungssysteme durchgeführt (Tabelle 1). Die Ergebnisse liefern erste Hinweise auf die grundsätzliche Nutzbarkeit des Ansatzes.

***Tabelle 1:** Evaluierung (eigene Darstellung).*

Evaluationsdimension	positiv	negativ - muss noch verbessert werden
Benutzerinteraktion	Bedienung über Handtracking, System ist interaktiv	Feininteraktion, Gestenerkennung
Benutzeroberfläche	Wahrnehmbarkeit der Informationen, Orientierung der Elemente	
Didaktische Wirksamkeit	Montageschritte können nach der Schulung selbstständig ausgeführt werden	
Multimodale Inhalte	Videos, Animationen zeigen notwendige Informationen	Texte sind zu lang
Umsetzung TWI-Konzept	4 Phasen werden erkennbar umgesetzt	
Selbstständige Durchführung	Schulung kann ohne schulende Person durchgeführt werden	
Praxistauglichkeit	kann in Praxis eingesetzt werden	Ankerplatzierung und Detailerkennbarkeit
KI-Assistenzsystem	mit Sprachinteraktion, allgemeine und kontextuelle Informationen	keine fehlerbasierte Rückmeldung
Lernkontrolle	Kontrollfragen mit Feedback	
Gesamteindruck	Akzeptanz des Systems	

Auf didaktischer Ebene werden Grenzen sichtbar. Während die Kombination aus Audio, Video-, und Animationsunterstützung als besonders hilfreich wahrgenommen wird, erweisen sich textbasierte Informationen teilweise als zu umfangreich. Dies unterstreicht die Notwendigkeit einer stärkeren Reduktion textlicher Inhalte. Technologische Limitationen betreffen insbesondere die Benutzerinteraktion. Das Handtracking der Meta Quest 3 funktioniert grundsätzlich zuverlässig, zeigt jedoch Einschränkungen bei Feininteraktion und der Gestenerkennung. Die ungenaue Ankerplatzierung sowie die eingeschränkte Erkennbarkeit kleiner Montageelemente, etwa von Schraublöchern, erschweren einzelne Arbeitsschritte. Diese Einschränkungen sind sowohl auf hardwareseitige Grenzen als auch auf fehlende

Funktionen wie Marker- oder Objekterkennung zurückzuführen. Hinzu kommt eine hohe Abhängigkeit von Unity-Versionen, wodurch Stabilität und Wartbarkeit des Systems eingeschränkt werden können.

Das integrierte KI-Assistenzsystem erweitert die Anwendung um eine dialogbasierte Unterstützungsfunktion, die insbesondere in der vierten Phase der TWI-Methode – der Überprüfung und Begleitung – einen Mehrwert bietet. Durch sprachbasierte Fragen und multimodale Antworten wird eine niedrigschwellige, jederzeit verfügbare Unterstützung ermöglicht. Gleichzeitig zeigt sich, dass der KI-Assistent im aktuellen Prototyp keinen direkten Zugriff auf den tatsächlichen Montagezustand besitzt und somit ausschließlich kontextuelle Informationen bereitstellen kann. Eine situations- oder fehlerbasierte Rückmeldung ist daher nicht möglich. Zukünftige Iterationen sollten daher die Integration von Echtzeit-Prozessdaten und sensorbasiertem Feedback anstreben.

Der entwickelte Prototyp konnte von einer Studierenden des Wirtschaftsingenieurwesens innerhalb der vorgegebenen Zeit erfolgreich umgesetzt und lauffähig implementiert werden. Die vier Phasen der TWI-Job-Instruction sind in der Anwendung klar erkennbar und didaktisch konsistent integriert, sodass die Zielsetzung einer schulungsfreien Durchführung erfüllt wird. Die Schulung kann unmittelbar am Arbeitsplatz bzw. arbeitsplatznah erfolgen. Insgesamt verdeutlicht der Beitrag das grundsätzliche Potential von TWI-basierten Extended Reality (XR)-Schulungssystemen mit KI-Assistenz, macht jedoch zugleich deutlich, dass weitere technologische Entwicklungen im Bereich der HDM-Hardware erforderlich sind. Derzeit begleitet das IPD entsprechende Implementierungen in Industrieunternehmen.

5. Literatur

Baroncelli C, Ballerio N (2016) WCOM (World Class Operation Management): Why You Need More Than Lean.Cham: Springer International Publishing.

Brill M (2023) Virtual Reality kompakt – Entwicklung von immersiver Software. Wiesbaden: Springer Gabler.

Engel L, Geisthardt M, Eck T (2023) Einfluss von Augmented Reality auf den Menschen und den Lernerfolg in der Basisarbeit, in: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.), Sankt Augustin: GfA-Press. (Published) ISBN 978-3-936804-33-1.

Long D, Magerko B (2020) What is AI Literacy? Competencies and Design Considerations. In: Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '20). ACM, New York, NY.

Mehler-Bicher A, Steiger L (2022): Augmented Reality: Theorie und Praxis. 3. Aufl., Berlin Bosten: de Gruyter Oldenbourg.

Meta 3 (o. D.) Meta Quest 3 – Produkt- und Entwicklerdokumentation https://www.meta.com/de/quest/ (abgerufen 03.08.2025)

Müller G (2018): TWI- Training Within Industry: unterweisen, führen, verbessern. München: Hanser Verlag.

Orsolits H, Lackner M (2020) Virtual Reality und Augmented Reality in der digitalen Produktion. Wiesbaden: Springer Gabler.

Schuh, G, Anderl R, Gausmeier M, ten Hompel M, Wahlster W (2017) Industrie 4.0 Maturity Index: Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten. München: Herbert Utz Verlag (acatech STUDIE).

Winkler R, Söllner M (2018) Unleashing the Potential of Chatbots in Education: A State-of-the-Art Analysis. In: Academy of Management Proceedings, 2018(1).

KI-gestütztes Open-Source-Tool zur Effizienzsteigerung im Lern- und Wissensmanagement

Jannis PFISTER[1], Matthias JENNER[1], Till GÜNTHER, Rainer MÜLLER[2]

[1] ZeMA – Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik gGmbH
Eschberger Weg 46, D-66121 Saarbrücken
[2] Lehrstuhl für Montagesysteme, Universität des Saarlandes
Eschberger Weg 46, D-66121 Saarbrücken

Kurzfassung: Angesichts von Fachkräftemangel und demografischem Wandel wird die Sicherung von Erfahrungs- und Prozesswissen für KMU zum kritischen Wettbewerbsfaktor. Die Überführung dieses Wissens in digitale Lernprozesse scheitert jedoch oft an begrenzten Ressourcen. KI-gestützte Werkzeuge bieten hierfür erhebliche Effizienzpotenziale, erfordern jedoch strikte Datensouveränität und Transparenz. Der vorgestellte Ansatz beschreibt eine Open-Source-Architektur, die lokal betriebene Large Language Models (LLM) mit einer dynamischen Anbindung an interne Wissensquellen kombiniert, um SCORM-kompatible Lerninhalte effizient zu generieren. Ein integrierter Human-in-the-Loop-Prozess gewährleistet dabei die fachliche Validierung der Inhalte durch Experten. Die Evaluation des Prototyps belegt signifikante Effizienzsteigerungen und eine deutliche Beschleunigung des Erstellungsprozesses, verdeutlicht jedoch zugleich, dass die didaktische Qualität ohne menschliche Nachbearbeitung schwanken kann. Der Beitrag zeigt damit einen praxisnahen, aber differenzierten Weg zur Integration generativer KI in bestehende Lern- und Wissensprozesse auf.

Schlüsselwörter: Wissensmanagement, Künstliche Intelligenz, Human-in-the-Loop, Lernmanagementsysteme, Open Source, KMU

1. Einleitung & Motivation

Wissen gilt in KMU als zentrale strategische Ressource, wird in der Praxis jedoch häufig unsystematisch und personenabhängig gehandhabt (Durst et al. 2022; Escobar-Castillo & Velandia-Pacheco 2024). Vor allem Erfahrungs- und Prozesswissen bleibt an einzelne Personen gebunden und ist nur begrenzt dokumentiert. Damit stellt sich nicht nur die Frage, wie dieses Wissen erhalten werden kann, sondern auch, wie es so aufbereitet wird, dass es in kontinuierlichen Lern- und Qualifizierungsprozessen wirksam genutzt werden kann. Lernmanagementsysteme bieten hierfür eine technische Grundlage, ihre Wirkung hängt jedoch auch unmittelbar von der Verfügbarkeit passender und aktueller Inhalte ab, deren Erstellung in KMU als wesentlicher Engpass identifiziert werden kann (Oni-Orisan 2016).

Generative KI und große Sprachmodelle eröffnen die Möglichkeit, Wissensmanagement und Lernen enger zu verzahnen, indem vorhandenes Fachwissen effizient in strukturierte Lern- und Wissensbausteine überführt wird (Li et al. 2025). Erste Arbeiten zeigen Effizienzpotenziale, verweisen aber zugleich auf Risiken wie Halluzinationen, begrenzte fachliche Validität und fehlende Transparenz der Modelle (Cossio 2024). Für KMU mit sensiblen Daten rücken daher

datensouveräne, lokal betreibbare Lösungen und explizite Qualitätsprozesse in den Vordergrund. Human-in-the-Loop-Ansätze, in denen automatisch erzeugte Inhalte systematisch durch Fachexpertinnen und Fachexperten geprüft und freigegeben werden, werden in diesem Zusammenhang als zentraler Baustein einer verantwortungsvollen Nutzung betrachtet (Barberá 2023).

Vor diesem Hintergrund wurde ein Prototyp einer KI-gestützten Open-Source-Architektur realisiert, der lokale LLMs, interne Wissensquellen und bestehende Lernmanagementsysteme verbindet, um die Erstellung von Lern- und Wissensinhalten sowohl effizienter als auch kontrollierbar sowie steuerbar zu gestalten. Im Mittelpunkt stehen die Fragen, wie KI zuverlässig in die Content-Erstellung eingebunden werden kann, welche Rolle der Mensch im Rahmen von Human-in-the-Loop-Prozessen für Qualität und Akzeptanz spielt und inwieweit lokal betriebene LLM-Architekturen eine praxistaugliche Option für KMU darstellen.

2. Technologische Grundlagen und Stand der Technik

Für das Verständnis der nachfolgend beschriebenen Systemarchitektur ist eine präzise Einordnung der verwendeten Technologien und Standards unerlässlich. Die Basis der semantischen Verarbeitung bilden Large Language Models (LLM), die hierbei nicht als statische Datenbank, sondern als „kognitiver Motor“ fungieren, um unstrukturierte Informationen zu analysieren und in neue Formate zu transferieren (Kalweit & Gabriel 2024). Ein wesentliches Defizit generativer Modelle ist jedoch ihre Neigung zu Halluzinationen, weshalb für den industriellen Einsatz der Ansatz der Retrieval-Augmented Generation (RAG) zwingend erforderlich ist. Hierbei generiert das Modell Antworten nicht frei, sondern ausschließlich auf Basis injizierter Firmendokumente (Lewis et al. 2020). Damit das System diese Dokumente kontextbezogen identifizieren kann, kommt die Vektorisierung (Embeddings) zum Einsatz. Ein Embedding-Modell transformiert Texte in mathematische Vektoren, sodass Inhalte nach ihrer semantischen Bedeutung und nicht nur nach Schlagworten gefunden werden (Reimers & Gurevych 2019).

Eine zentrale Herausforderung für KMU stellt hierbei die Datensouveränität dar, da die Nutzung cloudbasierter Modelle Risiken wie Modell-Inversion oder Datenabfluss birgt (Barberá 2025). Ergänzend hierzu führt die Anbindung externer Cloud-Dienste zu einer kritischen operativen Abhängigkeit von der Verfügbarkeit fremder Infrastrukturen. Netzwerkausfälle oder Änderungen an API-Schnittstellen seitens der Anbieter können die Betriebsfähigkeit des Systems unmittelbar gefährden. Um diese Sicherheits- und Verfügbarkeitslücke zu schließen, ist eine Lokale Inferenz (On-Premise) notwendig, bei der die gesamte Datenverarbeitung auf eigener Hardware innerhalb des geschützten Unternehmensnetzwerks stattfindet.

Da etablierte Lernmanagementsysteme (LMS) wie Moodle (Dougiamas & Taylor 2003) primär als administrative Plattformen dienen und nach aktuellem Stand der Technik keine native Möglichkeit besitzen, komplexe Kursstrukturen vollautomatisiert und RAG-basiert aus lokalen Wissensquellen zu generieren, entsteht eine funktionale Lücke im digitalen Workflow. Zwar existieren Standards wie SCORM für den Austausch von Lerninhalten (ADL 2009), doch fehlt es an integrierten Werkzeugen, die diesen Standard unter Berücksichtigung von Datensouveränität und KI-gestützter Inhaltserstellung bedienen. Sowohl Sicherheitslücken in Cloud-Lösungen als auch die fehlende Faktentreue ohne RAG und unzureichende LMS-Tools begründen den

Bedarf für diese Eigenentwicklung. Um eine praxistaugliche Anwendung zu schaffen, ist eine dedizierte Architektur erforderlich, die diese Aspekte modular verknüpft.

3. Systemarchitektur und Implementierung

Die Realisierung der Anforderung nach Datensouveränität bei gleichzeitiger Nutzung moderner Sprachmodelle erfolgt durch die in Abbildung 1 dargestellte modulare, containerisierte Architektur.

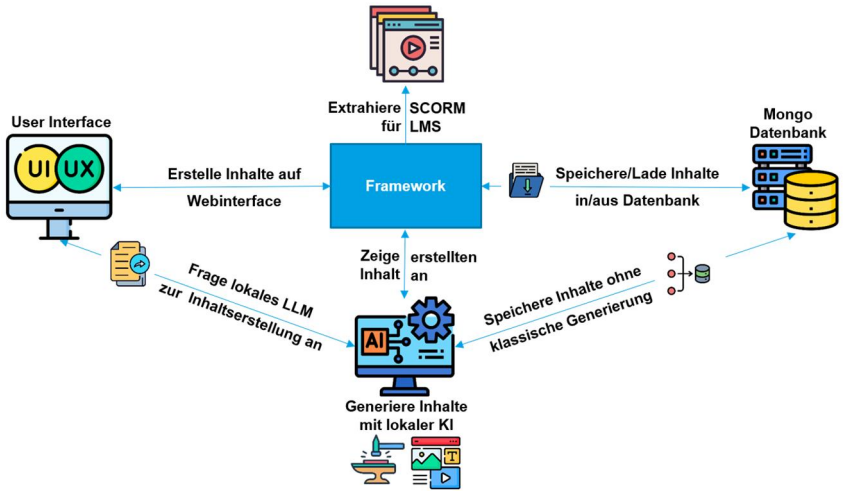


Abbildung 1: *Arbeitsweise und Kommunikation des KI-gestützten Open-Source-Tools mit beteiligten Komponenten.*

Das System ist so konzipiert, dass es vollständig "On-Premise" auf Standard-Serverhardware in KMU betrieben werden kann. Das Herzstück bildet die Interaktion zwischen der Benutzeroberfläche und den Inferenz-Modellen. Für die Verwaltung der lokalen Sprachmodelle wird Ollama als Backend-Engine eingesetzt. Für die konkrete Implementierung wurde das Open-Source-Modell Mistral 7B gewählt. Das Modell zeichnet sich durch ein optimales Verhältnis zwischen sprachlicher Leistungsfähigkeit im Deutschen und moderatem Ressourcenbedarf aus. In der Folge wird der lokale Betrieb auf Edge-Geräten am Shopfloor wirtschaftlich ermöglicht (Jiang et al. 2023).

Die Kommunikation wird durch eine REST-API initiiert, die durch OpenWebUI als Frontend und Management-Layer gesteuert wird. Eine Besonderheit der Implementierung ist das differenzierte Rechtemanagement über API-Schlüssel. Da verschiedene Nutzergruppen Zugriff auf unterschiedliche Wissensbestände benötigen, erlaubt die Architektur die Vergabe individueller Schlüssel, die steuern, auf welche Vektor-Indizes das RAG-System zugreifen darf. Für die Speicherung des Zustands von generierten Kursinhalten wird die dokumentenorientierte Datenbank MongoDB eingesetzt. Im Gegensatz zu relationalen Datenbanken erlaubt ihr JSON-basiertes Schema die flexible Speicherung der heterogenen Datenstrukturen, die bei der Generierung von Lerninhalten entstehen. Die generierten Rohdaten werden an dieser Stelle direkt persistiert, um eine Versionierung und spätere Bearbeitung zu ermöglichen.

Da Lernmanagementsysteme wie Moodle zwar erste Ansätze zur KI-Textgenerierung bieten, jedoch keine native Möglichkeit besitzen, komplexe Kursstrukturen RAG-basiert sowie vollautomatisiert aus lokalen Wissensquellen zu generieren, fungiert das Adapt Learning Framework als notwendige Middleware. Der

Prozess läuft teilautomatisiert ab: Über die API fordert das Adapt-Tool Inhalte beim lokalen LLM an. Zunächst werden diese im Editor verarbeitet, wo der Ansatz des "Human-in-the-Loop" zum Tragen kommt. In diesem Prozess überprüft und korrigiert der Autor die KI-Vorschläge. Nach erfolgter Freigabe kompiliert das Framework die Inhalte in ein standardisiertes SCORM-Paket. Der finale Import in das LMS (Moodle) erfolgt bewusst als Datei-Upload. Dieser Medienbruch fungiert als zusätzliches "Quality Gate": Der Kurs wird nicht ungeprüft beim Lerner platziert, sondern muss aktiv durch einen Administrator freigegeben werden. Moodle fungiert in der Folge als revisionssichere "Single Source of Truth" für den Lernfortschritt.

4. Operativer Workflow und Funktionalität

Die technische Architektur wird durch einen definierten Workflow operationalisiert, der die Stärken der generativen KI mit der notwendigen menschlichen Kontrollinstanz verbindet. Die Anbindung des lokalen LLMs über eine offene API-Schnittstelle bietet dabei einen entscheidenden Vorteil gegenüber einer monolithischen Integration, da sie perspektivisch auch Modalitäten wie Audio-Transkription einbinden kann. Der Fokus des aktuellen Prototyps liegt auf der wissensbasierten Texterstellung und der automatisierten Quiz-Generierung. Bei der Texterstellung besteht die Möglichkeit, Inhalte wahlweise angeleitet oder per "Free Prompt" auf Basis vektorisierter Firmendokumente zu generieren. Das Quiz-Modul hingegen erlaubt die automatische Ableitung von Testfragen inklusive Bewertungsschema direkt in die Datenbankstruktur.

Für die Integration dieser Inhalte in das Lernmanagementsystem wurde bewusst auf eine unmittelbare, vollautomatisierte Injektion in die Moodle-Kursdatenbank verzichtet. Die interne Struktur von Moodle-Kursen ist komplex und versionsabhängig, sodass ein direkter Schreibzugriff die Datenintegrität gefährden kann. Stattdessen fungiert das Adapt Framework als eine stabilisierende Zwischenschicht, in der Inhalte strukturiert und finalisiert werden, bevor sie als gekapseltes SCORM-Paket exportiert werden. Dieser Workflow bedingt systemseitig eine menschliche Validierung (Human-in-the-Loop). Obwohl KI-Modelle durch die RAG-Anbindung zu Wiederholungen oder fachlichen Unschärfen neigen können, müssen die im Editor generierten Vorschläge durch Fachexperten aktiv geprüft, gekürzt und freigegeben werden. Der Mensch übernimmt somit die finalisierende Bearbeitung des von der KI gelieferten Rohbaus, was die Verbreitung fehlerhaften Wissens am Shopfloor verhindert und die Akzeptanz der Lösung erhöht.

5. Evaluation und Ergebnisse

Zur Validierung der entwickelten Systemarchitektur wurde ein zweistufiges Evaluationskonzept umgesetzt, das sowohl die Effizienz des Erstellungsprozesses als auch die Lernerfahrung der Nutzer untersuchte. Als Testszenarien dienten die realen Industriethemen „Ergonomie am Arbeitsplatz“ und „Kreislaufwirtschaft“.

Im ersten Schritt erfolgte ein quantitativer A/B-Vergleich der Erstellungsdauer zwischen der konventionellen manuellen Ausarbeitung und der KI-gestützten Erstellung mittels der lokalen RAG-Architektur. Dieser Vergleich wurde exemplarisch von zwei Fachexperten durchgeführt, um das Einsparpotenzial bei der Content-Erstellung zu ermitteln. Die Messungen belegen eine deutliche Beschleunigung durch

das Tool: Während die manuelle Erstellung des Ergonomie-Kurses 20 Stunden beanspruchte, konnte dieser Wert durch die KI-Pipeline auf 8 Stunden reduziert werden, was einer Effizienzsteigerung von 60 Prozent entspricht. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich beim Thema Kreislaufwirtschaft mit einer Reduktion von 15 auf 7 Stunden. Die hierdurch freigewordenen Ressourcen ermöglichen eine Verlagerung der Arbeitszeit von der reinen Content-Erzeugung hin zur qualitativen Veredelung.

Auf Basis dieser generierten Inhalte wurde im zweiten Schritt die Qualität und Akzeptanz evaluiert. Hierfür untersuchte eine Testgruppe von acht Probanden (N=8) aus dem akademischen und industriellen Umfeld (Durchschnittsalter 30 Jahre) die Kurse in einer Blindstudie. Die Auswertung der Feedback-Daten zeigt eine differenzierte Wahrnehmung der KI-Inhalte. Grundsätzlich signalisierte die Mehrheit der Teilnehmenden eine hohe Offenheit gegenüber der Technologie; die Aussage, dass KI genutzt werden darf, solange die Qualität stimmt, erhielt hohe Zustimmungswerte. Jedoch korrelierte die Lernmotivation stark mit dem Grad der menschlichen Nachbearbeitung. In den Freitext-Rückmeldungen wurde mehrfach auf „Redundanzen“ und eine als „langatmig“ empfundene Textstruktur hingewiesen, sofern Inhalte ungeprüft übernommen wurden. Insbesondere bei generischen Prompts tendierte das Modell zu weitschweifigen Formulierungen, die von den Probanden als „ermüdend“ charakterisiert wurden. Zudem fiel auf, dass bei unzureichender Validierung Distraktoren in Multiple-Choice-Tests teilweise unlogisch generiert wurden, was die didaktische Glaubwürdigkeit minderte.

Trotz dieser qualitativen Mängel in der Rohfassung bestand unter den Testpersonen keine prinzipielle Ablehnung, was sich auch nochmals in Abbildung 2 deutlich zeigt. Dargestellt ist die Zustimmung auf einer 7-stufigen Likert-Skala (1 = „Stimme überhaupt nicht zu“ bis 7 = „Stimme voll und ganz zu“)

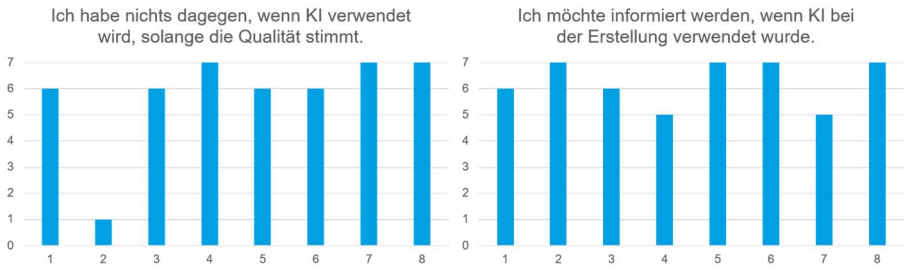


Abbildung 2: *Vergleich der Nutzerakzeptanz zur Forderung nach Transparenz (N=8).*

Die quantitative Auswertung bestätigt vielmehr, dass der Wunsch nach Transparenz und menschlicher Kontrolle dominiert: Die Probanden forderten nahezu einstimmig, dass KI-generierte Inhalte transparent gekennzeichnet und zwingend durch Fachexperten kuratiert werden müssen. Die Studie belegt somit empirisch, dass die Akzeptanz von KI-Lernmedien weniger von der Technologie selbst, als vielmehr von der Sichtbarkeit der Qualitätssicherung abhängt

6. Fazit und Ausblick

Der realisierte Prototyp demonstriert, dass der Einsatz lokaler Large Language Models eine leistungsfähige und datensouveräne Lösung für die Herausforderungen des Wissensmanagements in KMU darstellt. Die Evaluation zeigt eine signifikante Steigerung der Effizienz bei der Erstellung von SCORM-basierten Lerninhalten um bis

zu 60 Prozent, wobei keine sensible Prozessdaten die unternehmenseigene Infrastruktur verlassen. Gleichzeitig verdeutlichen die Ergebnisse, dass Technologie allein keine Garantie für didaktische Qualität ist. Der etablierte Human-in-the-Loop-Prozess hat sich als unverzichtbare Instanz zur fachlichen Validierung erwiesen, um Redundanzen zu vermeiden und die Akzeptanz bei den Lernenden zu sichern. In diesem System nimmt der Mitarbeiter nicht mehr die Rolle eines einfachen Autors ein, sondern fungiert als qualitätssichernder Gestalter. Der Fokus zukünftiger Erweiterungen liegt primär auf dem Abbau von Zugangsbarrieren bei der Wissenserfassung. In Bezug auf die genannte Thematik wurde die Integration von Speech-to-Text-Schnittstellen in die Konzeptualisierung einbezogen. Das Ziel dieser Integration besteht darin, den Mitarbeitenden die Möglichkeit zu bieten, ihr Erfahrungswissen in einer niederschwelligen mündlichen Form einzubringen. Das System wird dahingehend erweitert, dass es neben der Verarbeitung von Texten auch für die Interpretation und Einbindung von technischen Zeichnungen, Bildmaterial sowie Videosequenzen in den Lernkontext vorgesehen ist.

7. Literatur

Adapt Learning Project (2024) Adapt Authoring Tool & Framework Documentation. https://www.adaptlearning.org. Zugegriffen: 15. Dez. 2025.

ADL, Advanced Distributed Learning Initiative (2009) SCORM 2004 4th Edition – Content Aggregation Model (CAM). Alexandria, VA: ADL Technical Team.

Barberá I (2025) AI Privacy Risks & Mitigations - Large Language Models (LLMs). European Data Protection Board (Support Pool of Experts Programme).

Cossio M (2025) A comprehensive taxonomy of hallucinations in Large Language Models. arXiv preprint arXiv:2508.01781.

Dougiamas M & Taylor PC (2003) Moodle: Using Learning Communities to Create an Open Source Course Management System. In: Lassner D & McNaught C (Eds) Proceedings of ED-MEDIA 2003. Honolulu: AACE, 171-178.

Durst S, Foli S & Edvardsson IR (2022) A systematic literature review on knowledge management in SMEs: current trends and future directions. Management Review Quarterly 73:1-35.

Escobar-Castillo A & Velandia-Pacheco G (2024) Categorizing the effects of knowledge management practices on SMEs: a literature review. TEC Empresarial 18:23-42.

Jiang AQ, Sablayrolles A, Mensch A et al. (2023) Mistral 7B. arXiv preprint arXiv:2310.06825.

Kalweit M & Gabriel (2024) Warum wir neu lernen müssen, mit Maschinen zu sprechen – eine Momentaufnahme der generativen KI. Ordnung der Wissenschaft 2:125-138.

Lewis P, Perez E, Piktus A et al. (2020) Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. In: Larochelle H et al. (Eds) Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS) 33. Red Hook, NY: Curran Associates, 9459-9474.

Li H, Fang Y, Zhang S et al. (2025) ARCHED: A Human-Centered Framework for Transparent, Responsible, and Collaborative AI-Assisted Instructional Design. Proceedings of Machine Learning Research 273:1-11.

Oni-Orisan A (2016) Knowledge management barriers in SMEs. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Knowledge Management.

Reimers N & Gurevych I (2019) Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks. In: Inui K et al. (Eds) Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Hong Kong: Association for Computational Linguistics, 3982-3992.

Danksagung: Diese Forschungsarbeit entstand im Projekt KOMATRA (Förderkennzeichen 02L22C005), gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).

Zur beruflichen Nutzung generativer KI in Deutschland: Zusammenhänge mit Arbeitsmerkmalen, Autonomie und Führungsverantwortung in der Unternehmensorganisation

Tim KOMOROWSKI[1], Thomas SÜßE[2]

[1] Bundesinstitut für Berufsbildung (BIBB), Abteilung 4 - Initiativen für die Berufsbildung, Friedrich-Ebert-Allee 114 – 116, D-53113 Bonn
[2]Fachgebiet Personal und Organisation, Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Mathematik Hochschule Bielefeld (HSBI), Langer Weg 9a, D-33332 Gütersloh

Kurzfassung: Generative Künstliche Intelligenz (generative KI) wird zunehmend im Arbeitsleben eingesetzt. Um ein besseres Verständnis dafür zu gewinnen, in welchen beruflichen Kontexten diese Technologie genutzt wird und wo dies nicht der Fall ist, analysieren wir die Rolle von Arbeitsmerkmalen, beruflicher Autonomie und Führungsverantwortung. Datengrundlage ist die für Deutschland repräsentative BIBB / BAuA Erwerbstätigenbefragung 2024. Regressionsanalysen verdeutlichen für die Berufsgruppe der Unternehmensorganisation und -strategie, wie Arbeitsbedingungen, berufliche Anforderungen und Tätigkeiten mit der Nutzung von generativer KI zusammenhängen. Die Analysen zeigen, dass Erwerbstätige mit hoher beruflicher Autonomie sowie Führungsverantwortung signifikant häufiger generative KI bei ihrer Arbeit einsetzten. Die Ergebnisse legen nahe, dass Unternehmen, die einen stärkeren Einsatz von generativer KI anstreben, bei der Arbeitsgestaltung die Autonomie von Erwerbstätigen gezielt berücksichtigen sollten, um günstige Voraussetzungen für deren Einführung und Nutzung zu schaffen.

Schlüsselwörter: generative Künstliche Intelligenz, Arbeitsmerkmale, Autonomie, Führungsverantwortung, Unternehmensorganisation, Deutschland

1. Einleitung

Generative Künstliche Intelligenz (generative KI) in Form von Large Language Models findet zunehmend Anwendung in der Arbeitswelt (Soulami et al. 2024). Während manche Erwerbstätige diese Technologien bereits intensiv nutzen, z.B. für ihre Forschung, Beratungstätigkeiten und Recherchen, verzichten andere praktisch vollständig darauf. Vor diesem Hintergrund gehen wir der Frage nach, unter welchen Arbeits-bedingungen generative KI aktuell von Erwerbstätigen in Deutschland genutzt wird und welche Rolle Autonomie und Führungsverantwortung dabei spielen. Dabei fokussieren wir auf Berufe im Bereich der Unternehmensorganisation und -strategie, die durch eine hohe Wissensintensität gekennzeichnet sind und vielfältige Möglichkeiten für den Einsatz generativer KI bieten.

In diesem Beitrag zeigen wir, dass generative KI besonders häufig an solchen Arbeitsplätzen zum Einsatz kommt, an denen Erwerbstätige über eine hohe berufliche Autonomie verfügen. Nach der Selbstbestimmungstheorie (Ryan & Deci 2017) sind autonomieförderliche Arbeitsplätze dadurch gekennzeichnet, dass sie es Erwerbs-

tätigen ermöglichen, eigene Entscheidungen zu treffen und Wahlmöglichkeiten bereitstellen. Es liegt eine umfangreiche empirische Evidenz vor, wonach autonomieförderliche Arbeitsbedingungen mit einer Reihe von positiven Folgen für Erwerbstätige verbunden sind, z. B. mit einer höheren beruflichen Leistung und höheren Arbeitszufriedenheit sowie mit einer stärkeren intrinsischen Arbeitsmotivation und Kreativität (vgl. z. B. Metaanalyse von van den Broeck 2016).

Wir nehmen an, dass Erwerbstätige mit hoher Arbeitsautonomie generative KI häufiger nutzen. Zur Prüfung dieser Annahme nehmen wir unterschiedliche arbeitsbezogene Merkmale in die Analyse auf. Im Einzelnen berücksichtigen wir Arbeitsbedingungen, Arbeitsanforderungen sowie berufliche Tätigkeiten. Erwerbstätige sollten an Autonomie unterstützenden Arbeitsplätzen eher in der Lage sein, selbstbestimmt KI-basierte Anwendungen für ihre Arbeit zu identifizieren, diese ihren eigenen Bedürfnissen und individuellen Anforderungen entsprechend auszuwählen und eigenverantwortlich in ihre täglichen Arbeitsabläufe zu integrieren. Vor diesem Hintergrund stellen wir folgende Hypothesen auf:

Hypothese 1a: Autonomieunterstützende Arbeitsbedingungen gehen mit einer signifikant häufigeren Nutzung von generativer KI einher.

Hypothese 1b: Berufliche Anforderungen mit ausgeprägten Gestaltungsspielräumen gehen mit einer signifikant häufigeren Nutzung generativer KI einher.

Hypothese 1c: Forschungsbezogene und wissensintensive Tätigkeiten gehen mit einer signifikant häufigeren Nutzung generativer KI einher.

Insbesondere verfügen Führungskräfte über eine hohe berufliche Autonomie, z.B. bei strategischen Entscheidungen. In der folgenden Hypothese fokussieren wir zusätzlich auf die Gruppe der Erwerbstätigen mit Führungsverantwortung:

Hypothese 2: Führungskräfte verwenden generative KI signifikant häufiger als Erwerbstätige ohne Führungsverantwortung.

2. Datengrundlage und Methode:

Die Datengrundlage der vorliegenden Untersuchung bildet die BIBB / BAuA-Erwerbstätigenbefragung (ETB) 2024 des Bundesinstitutes für Berufsbildung (BIBB) und der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Santiago-Vela & Hall 2023). An dieser querschnittlichen und für die deutsche Erwerbsbevölkerung repräsentativ angelegten Befragung nahmen Erwerbstätige ab 15 Jahren mit einer Arbeitszeit von mindestens zehn Stunden pro Woche teil. Als erwerbstätig galten alle Personen, die zum Zeitpunkt der Befragung einer bezahlten Tätigkeit nachgingen. Die Erwerbstätigen wurden mit einem Zufallsverfahren aufgrund ihrer Mobilfunk- oder Festnetztelefonnummer rekrutiert. Die Interviews wurden in den Jahren 2023 und 2024 telefonisch geführt und dauerten durchschnittlich ca. 42 Minuten. Die Gesamtstichprobe der befragten Erwerbstätigen umfasst 20 006 Erwerbstätige.

2.1 Stichprobe

Die Berufsgruppe der Unternehmensorganisation und -strategie ist stark geprägt durch wissensintensive Tätigkeiten, z.B. im Bereich der Analyse und Optimierung von Unternehmensprozessen, Beratungs- und Planungsaufgaben oder der Erstellung von Schriftverkehr (Bundesagentur für Arbeit 2021). Für solche wissensintensiven Tätigkeiten wurde berichtet, dass der Einsatz generativer KI erheblich zu einer

Steigerung der Produktivität und Qualität der Arbeitsergebnisse beitragen kann (Dell'Acqua et al. 2023).

Bei der Klassifizierung der Berufe verwendeten wir die aktuelle Klassifikation der Berufe 2010 in der überarbeiteten Fassung von 2020 der Bundesagentur für Arbeit. Die Teilstichprobe aus der Unternehmensorganisation und -strategie umfasste n = 1018 Erwerbstätige. Das durchschnittliche Alter lag bei 46 Jahren, wobei rund 46% der Befragten ein weibliches, 54% ein männliches und weniger als 1% ein anderes Geschlecht hatten.

2.2 Kodierung der Variablen und Maße

Berufliche Nutzung generativer KI. Die Nutzung von generativer KI wurde mit folgenden Items erfragt: „Verwenden Sie bei Ihrer Arbeit Technologien, die künstliche Intelligenz nutzen, z.B. um Sprache, Bilder oder Texte automatisch zu erkennen und zu verarbeiten?“ und „Haben Sie im Zeitraum der letzten zwei Jahre erstmals mit solchen Technologien gearbeitet?“. Bezüglich des Zeitraumes generativer KI konnten die Befragten mit „*ja, erstmals“* oder „*nein, bereits früher“* antworten.

Weiterhin wurden in die Analysen drei zentrale Arten von Arbeitsmerkmalen einbezogen, die berufliche Tätigkeiten, Anforderungen und Bedingungen umfassten.

Berufliche Bedingungen. Die beruflichen Bedingungen wurden anhand der folgenden Items erhoben: „Wie oft kommt es vor, dass Sie über das, was Sie in Ihrer Arbeit erreichen sollen, mitbestimmen können?“ und „Und wie oft kommt es vor, dass Sie Ihre eigene Arbeit selbst planen und einteilen können?“. Die Befragten beantworteten diese Fragen auf einer vierstufigen Likert-Skala mit den Ausprägungen *häufig, manchmal, selten* und *nie*.

Berufliche Anforderungen. Die beruflichen Anforderungen wurden mit den Items „Wie oft kommt es vor, dass Sie bisherige Verfahren verbessern oder etwas Neues ausprobieren?“, „Wie oft kommt es vor, dass Ihnen die Arbeitsdurchführung bis in alle Einzelheiten vorgeschrieben ist?“ und “Wie oft kommt es vor, dass sich ein und derselbe Arbeitsgang bis in alle Einzelheiten wiederholt?“ erhoben. Die Befragten beantworteten diese Fragen auf einer vierstufigen Likert-Skala mit den Ausprägungen *häufig, manchmal, selten und nie*.

Berufliche Tätigkeiten. Die beruflichen Tätigkeiten der Erwerbstätigen wurden unter Verwendung der folgenden Beschreibungen erhoben: „Entwickeln, Forschen, Konstruieren“, „Informationen sammeln, Recherchieren, Dokumentieren“ und „Beraten und Informieren“. Die Befragten gaben an, wie häufig sie die genannten Tätigkeiten ausführten und beantworteten die Fragen auf einer dreistufigen Likert-Skala mit den Ausprägungen *häufig, manchmal* und *nie*.

Führungsverantwortung. Die Führungsverantwortung wurde anhand des Items „Haben Sie Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, für die Sie <die/der> direkte Vorgesetzte sind?“ erhoben. Die Befragten konnten diese Frage mit *ja* oder *nein* antworten.

2.3 Datenanalyse

Im Rahmen der Datenanalyse wurden die bivariaten Zusammenhänge zwischen Arbeitsmerkmalen und der beruflichen Nutzung von generativer KI untersucht. Da es sich um querschnittlich erhobene Daten handelt, wurden in den Analysen keine kausalen Annahmen getroffen. Aufgrund der vorliegenden sowie theoretisch zu erwartenden teilweise hohen Interkorrelationen der Arbeitsmerkmale wurde für jedes Arbeitsmerkmal eine einfache lineare Regressionsanalyse mit robusten

Standardfehlern unter Verwendung der Strukturgewichtung der BIBB / BAuA Erwerbstätigenbefragung 2024 gerechnet, um die unabhängigen Effekte zu schätzen. Durch die Strukturgewichtung wurde für unterschiedliche Auswahlwahrscheinlichkeiten von Erwerbstätigen im Rekrutierungsprozess sowie Nonresponse und fehlende Erreichbarkeit korrigiert. Die Analysen wurden mit der Statistiksoftware Stata (Version 18) durchgeführt.

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass die berufliche Nutzung generativer KI in Deutschland bereits recht verbreitet ist. So nutzten 37,3 % der Erwerbstätigen in der Berufsgruppe der Unternehmensorganisation und -strategie sowie 20,3 % in der gesamten Erwerbsbevölkerung diese Technologie für ihre tägliche Arbeit. Zugleich macht die Befragung deutlich, dass der Einsatz generativer KI für die meisten Erwerbstätigen noch vergleichsweise neu war. In der Berufsgruppe der Unternehmensorganisation und -strategie verwendete die überwiegende Mehrheit der Nutzenden mit 67,9 % diese Technologie seit zwei Jahren oder einem kürzeren Zeitraum, während dieser Anteil in der gesamten Erwerbsbevölkerung bei 68,8 % lag. Tabelle 1 zeigt die Zusammenhänge von Arbeitsmerkmalen und der Nutzung von generativer KI.

Tabelle 1: *Arbeitsmerkmale und berufliche Nutzung von generativer KI für die Berufsgruppe der Unternehmensorganisation und –strategie sowie für die gesamte Erwerbsbevölkerung in Deutschland (in eckigen Klammern angegeben).*

Arbeitsmerkmal	Item	β	SE	*p*
Arbeits-bedingungen	Arbeit mitbestimmen können	.245***† [.136***]	0.024 [0.004]	<.001 [<.001]
	Arbeit selbst planen und einteilen können	.106** [.143***]	0.033 [0.004]	<.01 [<.001]
berufliche Anforderungen	Verbessern und Neues ausprobieren	.232*** [.222***]	0.031 [0.005]	<.001 [<.001]
	Arbeitsdurchführung bis in alle Einzelheiten vorgeschrieben	–.234***† [–.121***]	0.025 [0.004]	<.001 [<.001]
	Arbeitsvorgang wiederholt sich bis in alle Einzelheiten	–.228***† [–.174***]	0.022 [0.004]	<.001 [<.001]
Tätigkeiten	Entwickeln, Forschen, Konstruieren	.236*** [.242***]	0.035 [0.008]	<.001 [<.001]
	Informationen sammeln, Recherchieren, Dokumentieren	.223***† [.205***]	0.035 [0.005]	<.001 [<.001]
	Beraten und Informieren	.161*** [.167***]	0.036 [0.006]	<.001 [<.001]
berufliche Rolle	Führungsverantwortung	.133* [.049***]	0.061 [0.012]	<.05 [<.001]

Anmerkung: β standardisierter Regressionskoeffizient
Nutzung generativer KI: *1=nein, 2=ja*
Berufliche Arbeitsbedingungen und berufliche Anforderungen*: 1=nie, 2=selten, 3=manchmal, 4=häufig*
Berufliche Tätigkeiten: *1=nie, 2=manchmal, 3=häufig*
Führungsverantwortung: *1=nein 2=ja*
† standardisierter Regressionskoeffizient unterscheidet sich signifikant von dem darunter stehenden standardisierter Regressionskoeffizient für die Gesamtstichprobe
* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$.

Die Arbeitsmerkmale werden nach Arbeitsbedingungen, beruflichen Anforderungen und Tätigkeiten gegliedert. Hinsichtlich der Arbeitsbedingungen wird deutlich, dass

Erwerbstätige, die über eine hohe Autonomie verfügten, deutlich stärker generative KI nutzen. Insbesondere besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen Mitbestimmungsmöglichkeiten und der Nutzung von generativer KI (β = .245***, p < .001). Die Stärke dieses Zusammenhanges entspricht einer mittleren bis großen Effektstärke (Ryan et al. 2022). In Übereinstimmung damit zeigt sich, dass Erwerbstätige, die ihre Arbeit selbst planen und einteilen konnten, ebenfalls stärker auf generative KI zurückgriffen.

Auch der Zusammenhang zwischen kreativen Arbeitsanforderungen („Verbessern und Neues ausprobieren“) und dem Einsatz generativer KI (β = .232***, p < .001) fiel positiv aus. Demgegenüber zeigt sich, dass stark vorgeschriebene Arbeitsdurchführungen (β = –.234***, p < .001) sowie sich bis in alle Einzelheiten wiederholende Arbeitsvorgänge (β = –.228***, p < .001) mit einer deutlich geringeren Nutzung generativer KI einhergingen.

Hinsichtlich der Ausübung beruflicher Tätigkeiten zeigte sich in der Berufsgruppe der Unternehmensorganisation und -strategie, dass mit der Entwicklung, Forschung und Konstruktion befasste Erwerbstätige (β = .236***, p < .001) signifikant stärker generativer KI einsetzen. Auch bei Tätigkeiten im Bereich Informationen sammeln, Recherchieren und Dokumentieren zeigte sich ein starker Zusammenhang mit der Nutzung von generativer KI.

Die Tabelle verdeutlicht zudem, dass die Zusammenhänge zwischen Arbeitsmerkmalen und der Nutzung generativer KI in der untersuchten Berufsgruppe teilweise signifikant stärker ausfielen als in der gesamten Erwerbsbevölkerung. Besonders hervorzuheben ist hierbei die Möglichkeit, die eigene Arbeit mitbestimmen zu können, die in der Berufsgruppe Unternehmensorganisation und -strategie einen deutlich stärkeren Zusammenhang mit der Nutzung generativer KI aufwies. Zudem griffen Erwerbstätige in der Unternehmensorganisation und -strategie beim Sammeln von Informationen, Recherchieren und Dokumentieren (β = .223***, p < .001) signifikant stärker auf generative KI zurück, als dies in der gesamten Erwerbsbevölkerung der Fall war (β = .205***, p < .001). In den Hypothesen 1a bis 1c wurde angenommen, dass autonomieunterstützende Arbeitsbedingungen (Hypothese 1a), berufliche Anforderungen mit ausgeprägten Gestaltungsspielräumen (Hypothese 1b) sowie forschungsbezogene und wissensintensive Tätigkeiten (Hypothese 1c) mit einer signifikant häufigeren Nutzung generativer KI verbunden sind. Diese Annahmen finden in den in der Tabelle dargestellten Ergebnissen deutliche Unterstützung. Insbesondere zeigte sich, dass Führungskräfte generative KI häufiger nutzten (β = .133*, p < .05). Dies trifft sowohl auf die Berufsgruppe Unternehmensorganisation und -strategie als auch auf die gesamte Erwerbsbevölkerung zu. Damit wird auch Hypothese 2 bestätigt, wonach Erwerbstätige mit Führungsverantwortung häufiger auf generative KI zurückgreifen als Erwerbstätige ohne Leitungsaufgaben.

Der Vergleich zwischen der Berufsgruppe Unternehmensorganisation und Strategie und der gesamten Erwerbsbevölkerung zeigte ein konsistentes Befundmuster. Für alle betrachteten Zusammenhänge hatten die standardisierten Regressionskoeffizienten gleiche Vorzeichen, was jeweils für übereinstimmende Zusammenhangsrichtungen spricht.

4. Diskussion

Die Ergebnisse geben Aufschluss darüber, in welchen Arbeitskontexten generative KI intensiver eingesetzt wird. Insbesondere im Zusammenhang mit Forschungs- und

Entwicklungstätigkeiten sowie bei der Sammlung von Informationen, Recherche- und Dokumentationsaufgaben kam generative KI verstärkt zum Einsatz. Es zeigte sich ein konsistentes Muster, wonach höhere berufliche Autonomie mit einer stärkeren Nutzung generativer KI einherging. Dagegen nutzten Erwerbstätige, deren Arbeitsabläufe bis in alle Einzelheiten vorgeschrieben sind, signifikant weniger generative KI.

Menschen erleben sich nach der Selbstbestimmungstheorie als autonom, wenn sie über Wahlmöglichkeiten verfügen, eigenständig Entscheidungen treffen und ihr Handeln selbst initiieren können (Deci & Ryan 2008). Arbeitsplätze, die solche Entscheidungs- und Gestaltungsspielräume gewähren, fördern demnach das Erleben von Autonomie bei Erwerbstätigen. Aus unserer Sicht schaffen besonders arbeitsorganisatorische Bedingungen, die Autonomie unterstützen, günstige Voraussetzungen für die Einführung und Nutzung generativer KI. Unter solchen Rahmenbedingungen können Erwerbstätige eigenständig entscheiden, welche Anwendungen generativer KI sie in welcher Weise und bei welchen Tätigkeiten in ihre Arbeitsprozesse integrieren möchten. Darüber hinaus zeigte sich, dass insbesondere Führungskräfte generative KI häufiger nutzten. Vor dem Hintergrund unserer Argumentation ist dies plausibel, da Führungskräfte typischerweise über erweiterte Gestaltungsspielräume verfügen. In leitenden Tätigkeiten werden z.B. häufig komplexe und strategische Entscheidungen getroffen, bei denen der Einsatz generativer KI zur Strukturierung von Informationen, zur systematischen Recherche und zur reflektierten Entscheidungsfindung naheliegt.

Insgesamt liefert diese Untersuchung empirisch belastbare Hinweise darauf, dass berufliche Autonomie entscheidend dafür ist, ob Erwerbstätige generative KI in ihre Arbeitsprozesse integrieren.

5. Literatur

van den Broeck A, Ferris DL, Chang CH, Rosen CC (2016) A Review of Self-Determination Theory's Basic Psychological Needs at Work. Journal of Management 42(5): 1195–1229.

Bundesagentur für Arbeit (2021) Klassifikation der Berufe 2010 - überarbeitete Fassung 2020; Band 2: Definitorischer und beschreibender Teil. Accessed Nov 07, 2025. https://statistik.arbeitsagentur.de/DE/Navigation/Grundlagen/Klassifikationen/Klassifikation-der-Berufe/KldB2010-Fassung2020/KldB2010-Fassung2020-Nav.html/.

Deci EL, Ryan RM (2008) Self-determination theory: A macrotheory of human motivation, development, and health. Canadian Psychology / Psychologie canadienne 49(3): 182–185.

Dell'Acqua F, McFowland E, Mollick ER, Lifshitz-Assaf H, Kellogg K, Rajendran S, Krayer L, Candelon F, Lakhani KR (2023) Navigating the Jagged Technological Frontier: Field Experimental Evidence of the Effects of AI on Knowledge Worker Productivity and Quality. SSRN Electronic Journal. Vorab-Onlinepublikation.

Ryan RM, Deci EL (2017) Self-Determination Theory: Basic Psychological Needs in Motivation, Development, and Wellness. Guilford Press, 532–558.

Ryan RM, Duineveld JJ, Di Domenico SI, Ryan WS, Steward BA, Bradshaw EL (2022) We know this much is (meta-analytically) true: A meta-review of meta-analytic findings evaluating self-determination theory. Psychological bulletin 148(11-12): 813–842.

Soulami M, Benchekroun S, Galiulina A (2024) Exploring how AI adoption in the workplace affects employees: a bibliometric and systematic review. Frontiers in artificial intelligence 7:1473872.

Qualifikationspotenziale und -anforderungen beim Einsatz generativer Sprachmodelle: Eine Multi-Stakeholder-Analyse mit betrieblichen Akteuren

Anja GERLMAIER, Paul Fiete KRAMER
Institut Arbeit und Qualifikation, Universität Duisburg-Essen
Forsthausweg 2, D-47048 Duisburg

Kurzfassung: Mit der Einführung generativer KI-basierter Assistenztools wie ChatGPT eröffnen viele Unternehmen ihren Beschäftigten neue Möglichkeiten zur Unterstützung alltäglicher Arbeitsprozesse. Das vom BmFTR geförderte Projekt HUMAINE führte Multi-Stakeholder-Workshops in vier betrieblichen Fallkontexten (Produktion, Forschung & Entwicklung, Wohlfahrtspflege und Schule) durch, um Qualifikationsbedarfe beim Einsatz generativer Sprachmodelle aus Sicht betrieblicher Nutzergruppen zu identifizieren. Die Analyse erfolgte inhaltsanalytisch entlang der zwölf KI-Kompetenzfelder nach Ehlers et al. (2024) mit einem Mixed-Methods-Ansatz. Die Ergebnisse zeigen über alle Fälle hinweg positive Einschätzungen zum Kompetenzaufbau durch ChatGPT, gleichzeitig jedoch differenzierte Bedarfe für betriebliche Schulungsinhalte und -formate.

Schlüsselwörter: Generative KI, Kompetenzen, Beteiligung, Qualifizierung

1. Einleitung

Mit der zunehmenden Einführung generativer KI-basierter Assistenztools wie ChatGPT, Gemini oder Copilot eröffnen viele Unternehmen ihren Beschäftigten neue Möglichkeiten zur Unterstützung alltäglicher Arbeitsprozesse. Im Einklang mit den Vorgaben des EU AI Act sind Unternehmen gefordert, vor dem Einsatz generativer KI gezielte Qualifizierungsmaßnahmen einzuleiten. Aktuelle Studien zeigen jedoch erhebliche Kompetenzlücken: Laut McKinsey geben 79 % der befragten Führungskräfte an, dass ihren Beschäftigten grundlegende KI-Kenntnisse fehlen (Rampelt et al., 2025).

Ein Großteil der internationalen Forschung zu positiven bzw. negativen Effekten von ChatGPT auf Kompetenzentwicklung stammt bislang aus dem Bereich der (Hochschul-)Bildung. Metastudien auf Basis von Experimenten mit Studierenden deuten darauf hin, dass ChatGPT in Lernkontexten der Hochschule positive Effekte auf Medien- und IT-Kompetenz, Text- und Sprachkompetenz, Bewertungs- und Reflexionskompetenz sowie Methodenkompetenz (z. B. wissenschaftliches Arbeiten) haben kann (Deng et al., 2024). Diese Effekte zeigten sich insbesondere im Sprachunterricht und bei zeitlich begrenzten Lernaufgaben, sodass keine Aussagen über die Nachhaltigkeit der Lerneffekte getroffen werden konnten. Neurowissenschaftliche Studien verweisen aber auch auf potenzielle Risiken: ChatGPT-Nutzende weisen bei kreativer Texterstellung eine geringere Vernetzung von Gehirnarealen und eine reduzierte Gedächtnisleistung nach der Dokumentenerstellung auf (Kosmyna et al., 2025).

Für den betrieblichen Einsatz generativer KI bedeutet dies, dass intelligente Chatbots trotz ihrer Selbstlernpotenziale gezielte Bildungsinvestitionen erfordern.

Ehlers et al. (2024) identifizierten in einer umfangreichen qualitativen und quantitativen Studie zwölf Kompetenzfelder, die künftig im Umgang mit KI im Arbeitskontext an Bedeutung gewinnen. Als besonders wichtig, aber gegenwärtig unzureichend ausgeprägt gelten die kritische digitale Kompetenz, die ethische Kompetenz sowie die kreative Gestaltungskompetenz. Die Autor:innen betonen den Bedarf weiterer Forschung für die zielgruppengerechte Entwicklung von Qualifizierungsangeboten und organisationalen Gestaltungskonzepten.

Bislang existieren jedoch kaum empirische Analysen, die Qualifizierungsbedarfe beim Einsatz generativer Sprachmodelle aus Sicht verschiedener betrieblicher Akteure und Settings betrachten (Kick et al., 2025). Im Nachfolgenden wird der Frage nachgegangen, welche Potenziale und Herausforderungen beim Einsatz generativer KI für die Kompetenzentwicklung resultieren und welche betrieblichen Qualifizierungs- und Gestaltungsbedarfe sich hieraus ergeben.

2. Methode

Das vom BMBF geförderte Projekt „HUMAINE“ (FK 02L19C201) zielt darauf ab, partizipative Methoden zur humangerechten Implementierung von KI-Systemen zu erarbeiten und zu erproben. Im Rahmen dieses Projekts führte das Institut Arbeit und Qualifikation Workshops zur psychosozialen Technikfolgenabschätzung durch, die sich auf die Identifikation von Qualifikations- und Gestaltungserfordernissen im Kontext der Einführung generativer KI konzentrierten. Eine Teilnahmevoraussetzung war vorhandene Nutzungserfahrung mit ChatGPT im Arbeitskontext. Methodisch wurde ein Mixed-Methods-Ansatz gewählt, der qualitative und quantitative Verfahren kombiniert. Für die quantitative Erfassung von kompetenzförderlichen und -hemmenden Systemeigenschaften wurde die Skala Kompetenzaufbau aus dem Friendly Tech Check verwendet (Gerlmaier & Bendel, 2024). Die aufbauende qualitative Analyse der Kompetenzbedarfe erfolgte inhaltsanalytisch auf Basis von Workshopdokumentationen, Audiomitschnitten und Kommentierungen im FTC entlang der KI-Kompetenzfelder nach Ehlers et al (2024).

Die Multi-Stakeholder-Workshops fanden in vier betrieblichen Fallkontexten zwischen September 2024 und Dezember 2025 statt, darunter Produktion, Forschung & Entwicklung, Wohlfahrtspflege und Schule (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: *Betriebsfälle, Nutzungskontexte und Zusammensetzung der Workshop-Teilnehmenden (IV = Interessenvertretung).*

Betriebsfall	**Nutzungskontexte**	**TN Work-shop**	**davon Mitarbei-tende**	**davon Führungs-verant-wortung**	**davon IV / Stab-stellen**
F & E	Recherche, Erstellen von wissenschaftl. Texten, (Agenten-) Programmierung	9	7	1	1
Produktion	Recherche, Textbearbeitung, Programmierung	24	12	10	2
Wohlfahrts-pflege	Erstellen von Dokumenten (z.B. Arbeitsanweisungen in einfacher Sprache), Programmierung	6	1	3	2
Schule	Erstellung von Lehrmaterial, Agentenprogrammierung (differenziertes Lernen), Unterstützung bei Verwaltungsaufgaben	16		14	2

3. Ergebnisse

3.1 Potenziale zur Kompetenzentfaltung (Up-skilling)

Die FTC-Ergebnisse zeigen über alle vier Fälle hinweg positive Einschätzungen hinsichtlich des Kompetenzaufbaus durch ChatGPT. Zwischen 87 % (Produktion) und 100 % (F&E sowie Schule) der Befragten geben an, dass ChatGPT beim Einarbeiten in neue Sachverhalte unterstützt. Viele betonen den schnellen Wissenszugriff und die Förderung selbstorganisierten Lernens. Etwa drei Viertel der Befragten (Range: 63 % bis 100 %) sehen zudem eine Entlastung von Routineaufgaben, wodurch mehr Zeit für kreative Tätigkeiten entsteht. In drei der vier Fälle (Ausnahme: Produktion) berichten Teilnehmende von einer Erweiterung bestehender Kompetenzen, z. B. bei der Erstellung von Logos (F&E) oder bei Programmieraufgaben (Wohlfahrt).

3.2 Kompetenzentwertung (De-skilling)

Nur etwa 10 % der Befragten glauben, dass der Einsatz von ChatGPT zu einer Entwertung eigener Kompetenzen führt. Allerdings sehen rund 30 % das Risiko, dass Fähigkeiten verlernt werden könnten (Range: 21 % bis 44 %), insbesondere in den Fällen F&E und Schule, wo langfristige negative Lernwirkungen befürchtet werden.

3.3 Qualifikationsbedarfe

Mehr als 60 % der Teilnehmenden (Range: 56 % bis 100 %) haben vor der Nutzung keine Schulung oder Unterweisung erhalten. Entsprechend bewerten nahezu alle Diskutierenden betriebliche Schulungsangebote als sehr wichtig. In allen vier untersuchten Fällen wird instrumentelle KI-Kompetenz, insbesondere das Prompting, als zentraler Schulungsbedarf identifiziert. Darüber hinaus zeigen sich fallbezogene Unterschiede in den zusätzlich als relevant eingestuften Kompetenzdimensionen.

Im Fall Forschung und Entwicklung werden vor allem Systemdesignkompetenzen (Integration von Chatbots in Kundensysteme) sowie Entscheidungskompetenz betont. Letztere umfasst die Fähigkeit, Risiken einer unreflektierten Abhängigkeit von KI-Ergebnissen zu erkennen und dadurch Reputationsrisiken für die Organisation zu vermeiden.

Dagegen werden im Fall Produktion kritische digitale Kompetenz – das eigenständige Prüfen KI-generierter Ergebnisse – sowie kooperative Kompetenz nach der ersten Erprobung von ChatGPT als wichtige Qualifikationsbedarfe identifiziert. Schulungsbedarfe leiten sich hier insbesondere aus sozialen Spannungen und erhöhtem Abstimmungsaufwand infolge unkritisch weitergeleiteter GPT-Inhalte ab.

In der Wohlfahrtspflege werden, neben prompt-bezogenen Kenntnissen, als relevante KI-Kompetenzen bei der zum Teil sehr technisch skeptischen Belegschaft vor allem kreative Problemlösekompetenzen (Fähigkeiten, nach Anwendungsmöglichkeiten von KI bei der eigenen Arbeitstätigkeit zu suchen) und Selbstwirksamkeit (positive Erlebnisse bei der Nutzung von generativer KI) als Qualifikationsziele genannt. Für die im Betrieb arbeitenden Werkstattbeschäftigten gewinnt aus Sicht der Teilnehmenden der Aufbau aktiver Lenkungsfähigkeit (Selbstorganisation im KI-gestützten Arbeiten) und die Vermittlung von kritischer digitaler Kompetenz an Bedeutung.

Im Fall Schule manifestieren sich Schulungsbedarfe auf Seiten der Lehrenden vor allem im Bereich Entscheidungs- und Lernkompetenzen im Umgang mit generativer KI sowie kritisches Denken zur pädagogisch verantworteten Nutzung. Zudem wird Kommunikationskompetenz als zentrale Schüler:innenkompetenz betrachtet, da sprachliche Präzision Voraussetzung für qualitativ hochwertige Prompts sei.

3.4 Gewünschte Qualifizierungsformate

Die Auswertung der Gruppendiskussionen zeigt, dass Teilnehmende in den vier Fallstudien sehr unterschiedliche Vorstellungen von bedarfsorientierten Qualifizierungsmaßnahmen artikulieren. So werden im Fall F&E traditionelle, einmalig durchgeführte Schulungsformate von den Befragten als wenig adäquat zur Entwicklung KI-bezogener Handlungskompetenzen bewertet. Als vielversprechender sehen die Teilnehmenden projektförmig angelegte Lernarrangements im Rahmen von extern finanzierten Use Cases. Diese Form der arbeitsintegrierten Qualifizierung trägt nach Einschätzung der Teilnehmenden auch dazu bei, den bisher überwiegend informellen und individualisierten Kompetenzerwerb in der Freizeit zu reduzieren.

Im Produktionskontext wird die Etablierung einer Betriebsvereinbarung zur KI-Nutzung und -Schulung als zentrale Voraussetzung für eine strukturierte Kompetenzentwicklung eingeschätzt. Die Teilnehmenden halten sowohl belegschaftsweite Sensibilisierungsmaßnahmen zur Förderung von KI-Awareness als auch fachbereichsspezifische, bedarfsorientierte Qualifizierungen für wichtig, um eine sichere Nutzung von KI-Systemen zu gewährleisten.

Im Fall Wohlfahrtspflege wiederum werden kollegiale Schulungsansätze als geeignete Lernformate favorisiert, die im Rahmen regelmäßig wiederkehrender Betriebsversammlungen stattfinden sollen. Für Werkstattbeschäftigte sollen tutoriell konzipierte Lernprogramme als niedrigschwelliger Zugang zum Erwerb KI-bezogener Grundkompetenzen etabliert werden.

Im schulischen Fallkontext begrenzen unzureichende Ressourcen die kollektive Weiterbildung. Hier sehen die Diskussionsteilnehmer Formate wie jährlich stattfindende Studientage, an denen technikaffine Lehrkräfte ihre Kolleg:innen im

Umgang mit KI anleiten, als zentralen Qualifikationsansatz an. Ergänzend werden ko-kreative Lernformen hervorgehoben, in denen Lehrkräfte und Schüler:innen gemeinsam Strategien des Promptings erproben und eine kritische Reflexionsfähigkeit gegenüber KI-generierten Ergebnissen entwickeln.

4. Diskussion

In der explorativ angelegten Multi-Stakeholder-Analyse konnte aufgezeigt werden, wie differenziert betriebliche lokale Akteure trotz ähnlicher Einschätzungen zu Potenzialen und Risiken generativer KI für die Kompetenzentwicklung sehr unterschiedliche Vorstellungen über geeignete Qualifizierungsformate und -bedarfe aufweisen. Das FTC-Workshopprogramm hat sich als sinnvolles Instrument dargestellt, settingspezifische Qualifizierungsbedarfe beteiligungsorientiert zu ermitteln. Für die weitere Forschung wären längsschnittlich angelegte Interventionsstudien wünschenswert, in denen die von den Teilnehmenden skizzierten Lernformate im Hinblick auf ihre Wirkungen auf die Kompetenzentwicklung vertiefend und inklusive möglicher De-skilling-Effekte untersucht werden.

5. Literatur

Deng R, Jiang M, Yu X, Lu Y, Liu S (2025) Does ChatGPT enhance student learning? A systematic review and meta-analysis of experimental studies. Computers & Education 227. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.105224 .

Ehlers U, Lindner M, Rauch E (2024) Forschungsbericht 2: Empirische Konstruktion & Beschreibung des Kompetenzmodells AIComp. Karlsruhe: DHBW. https://next-education.org/downloads/AIComp_Part_2_Kompetenzmodell_final.pdf

Gerlmaier A, Bendel A (2024) Künstliche Intelligenz am Arbeitsplatz gesundheits- und lernförderlich gestalten: Entwicklung und Erprobung des FriendlyTechChecks für betriebliche Praktiker:innen. In: Jan Dettmers, Anita Tisch und Rüdiger Trimpop (Hrsg.): 23. Workshop Psychologie der Arbeitssicherheit und Gesundheit – Gesundheitsförderliche Arbeit = attraktive Arbeit? Kröning: Asanger Verlag. 267-270.

Kick E, Brucker K, Kopp T, Kinkel S (2025) Kompetenzmanagement als Erfolgsfaktor - Wie KMU menschenzentrierte KI-Systeme erfolgreich einführen und nutzen können. GfA Frühjahrskongress 2025, Aachen.

Kosmyna N, Hauptmann E, Yuan YT, Situ J, Liao X, Beresnitzky AV, Braunstein I, Maes P (2025) Your Brain on ChatGPT: Accumulation of Cognitive Debt when Using an AI Assistant for Essay Writing Task. https://arxiv.org/abs/2506.08872

Rampelt F, Klier J, Kirchherr J, Ruppert R (2025) KI-Kompetenzen in deutschen Unternehmen - Schlüssel zu einer Jahrhundertchance für Deutschland. Stifterverband. https://doi.org/10.5281/zenodo.14637137 .

Hinweis: Das Verbundprojekt „HUMAINE“ wird gefördert vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BmFTR); Laufzeit von April 2021 bis März 2026; Förderkennzeichen 02L19C201.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Operationalisierung von Wissen durch Retrieval Augmented Generation

Nils FEGGELER, Markus HARLACHER, Lorena NIEBUHR-HAAK, Andreas FEGGELER

ifaa - Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V.
Uerdinger Straße 56, D-40474 Düsseldorf

Kurzfassung: Eine wichtige Rolle bei der Realisierung erfolgreicher KI-Projekte nehmen Forschungsverbundprojekte ein, die einen Transfer zwischen Wissenschaft und betrieblicher Praxis ermöglichen. Für eine gelungene Umsetzung künftiger Projekte ist die Sicherung und Nutzbarmachung von Wissen aus diesen Projekten von hoher Relevanz. Retrieval Augmented Generation bietet für diesen Zweck bis vor Kurzem ungeahnte Möglichkeiten. Im Beitrag wird exemplarisch aufgezeigt, wie dokumentiertes Erfahrungswissen aus dem Forschungsverbundprojekt WIRKsam mittels RAG für die Antizipierung von Herausforderungen zukünftiger KI-Forschungsvorhaben genutzt werden kann.

Schlüsselwörter: Retrieval Augmented Generation, Wissenssicherung, Erfahrungswissen, LLM, KI-Forschungsverbundprojekt

1. Motivation und Vorgehen

Die Fortschrittlichkeit von Large Language Models (LLMs), natürliche Sprache zu verarbeiten, sowie das mittlerweile reichhaltige Framework-Angebot für die Augmentierung eines LLM ohne Notwendigkeit des Fine-Tunings eröffnen neue Wege der Nutzbarmachung von spezifischem Wissen. Die relative Neuheit von Retrieval Augmented Generation (RAG) (vgl. Lewis et al. 2020) zum einen sowie die rasant wachsende Zahl unterschiedlicher LLMs und deren immer breitere Verwendung zum anderen münden in einer sehr hohen Entwicklungsdynamik auf diesem Feld. Bislang bestehen kaum Untersuchungen zum zielgerichteten Einsatz von RAG-Systemen zur Sicherung von Wissen in Forschungsprojekten.

Interdisziplinäre KI-Transferprojekte mit zahlreichen beteiligten Unternehmen, KI-Enablern und Forschungspartnern stellen hohe Anforderungen an Planung, Koordination und Kommunikation. Das dabei entstehende Erfahrungswissen zu betrieblichen und projektbezogenen Herausforderungen ist für zukünftige vergleichbare Vorhaben wertvoll und sollte daher systematisch dokumentiert und mittels eines geeigneten Mediums zugänglich gemacht werden.

In diesem Beitrag sollen daher anhand des dokumentierten Erfahrungswissen aus dem Projekt WIRKsam – einem Forschungsverbundprojekt zur menschzentrierten Umsetzung von KI in produzierenden Unternehmen – die Potenziale von RAG für die Operationalisierung von Wissen exemplarisch aufgezeigt und diskutiert werden.

Hierfür werden zunächst im Rahmen einer Recherche bestehende Ansätze der Sicherung und Nutzbarmachung von Wissen mit RAG, die Orientierung für die Gestaltung eines eigenen Systems geben könnten, erläutert. Darauffolgend werden exemplarische Beispiele des bislang dokumentierten Erfahrungswissens aus WIRKsam, etwa die anonymisierten Ergebnisse einer projektintern durchgeführten

Interviewstudie u.a. zur Reflexion bisheriger Herausforderungen sowie darüber hinaus relevante Publikationen hinsichtlich der Verwertbarkeit mit RAG bewertet. Anschließend erfolgt die Integration kompatibler Daten in ein prototypisch umgesetztes RAG-System.

Am Beispiel der Vorhabenbeschreibung eines anderen KI-Projekts wird bewertet, wie zielgerichtet das System konkrete Aussagen zu möglichen Herausforderungen und Handlungsempfehlungen anhand des zugrundeliegenden Erfahrungswissens geben kann. Abschließend erfolgt die Bewertung des Potenzials eines solchen Systems und ein Ausblick auf eine mögliche Skalierung.

2. Stand der Forschung

Für die Recherche wurden deutsch- und englischsprachige Suchbegriffe, wie z.B. „RAG / LLM / Retrieval Augmented Generation / Sprachmodelle“ in Verbindung mit „Wissen / Erfahrungswissen / Knowledge Management / Wissen in Projekten“ verwendet. Für die Durchführung der Recherche wurden die Suchmaschinen Google, Google Scholar, BASE, JSTOR und Scirus verwendet. Ausgewählt wurden die Ergebnisse aus Primär- und Sekundärliteratur anhand von Abstracts und Volltexten.
Die Verknüpfung von LLM-gestützter Textgenerierung mit einem externen Dokumenten-Retrieval wurde unter dem Begriff des Retrieval Augmented Generation erstmalig von Lewis et al. 2020 definiert und empirisch untersucht. Das Konzept – welches vielseitige Möglichkeiten für die Sicherung und Nutzbarmachung von Wissen bietet – hat seitdem Einzug in unterschiedliche Anwendungsfälle des Wissensmanagements gefunden. Sahin et al. 2024 beschreiben bspw. die Umsetzung eines RAG-Systems zur Beantwortung von Fragen zu unternehmensinternen Dokumenten aus dem Personalwesen sowie der Informationssicherheit. Chen et al. 2025 erläutern den Einsatz von RAG im Kontext der Bereitstellung von präzisen technischen Reparaturdetails, um die Servicequalität zu erhöhen und die Belastung der Beschäftigten zu verringern. Ojima et al. 2024 spezifizieren einen RAG-Ansatz für die Notwendigkeit des Wissenstransfers in der Fehleranalyse von Autos an die nachfolgende Generation. Arslan et al. 2024 listen darüber hinaus eine Vielzahl weiterer Anwendungsgebiete und Einsatzmöglichkeiten für RAG auf, so z.B. für die Bereitstellung von Behandlungsempfehlungen in der Medizin, die Vervollständigung und Reparatur von Programmcode in der Software-Entwicklung oder die erfahrungsbasierte Planung und Durchführung von Aktionen durch LLM-Agenten. Untersuchungen und Konzepte für die Wissenssicherung im Kontext von Projekten und noch spezifischer Forschungsprojekten sind dagegen rar gesät. So beschreiben Kostis & Schaus 2025 ausgehend von der hohen Dynamik in groß angelegten Bauprojekten ein RAG-Ansatz für die Nutzbarmachung dokumentierter Entscheidungsprozesse aus Projekt-Meetings. Vaira & Chavales 2025 entwickelten ein System für die Beherrschung des Informationsvolumens im Rahmen der Anwendung der agilen Softwareentwicklung und DevOps. Auf den Forschungskontext bezogen stellen Campbell et al. 2025 ein RAG-Tool vor, welches bei der Sicherung und Zugänglichkeit von implizitem Wissen in Forschungsgruppen unterstützen soll, Sie setzen den Fokus jedoch auf die retrospektive Nutzung dieses Wissens (z.B. Nachvollziehbarkeit vergangener Entscheidungen) und thematisieren keine Aufbereitung von projektbezogenen Erfahrungen für die Nutzung in neuen Verbundvorhaben. Abschließend lässt sich feststellen, dass vielseitige Anwendungsfelder für RAG erschlossen wurden, der Betrachtungsschwerpunkt

derzeit jedoch auf dem betrieblichen Anwendungskontext liegt. Für die Sicherung von Wissen in Forschungsprojekten dagegen besteht weiterer Untersuchungsbedarf.

3. Datengrundlage und RAG-System

3.1 Eignung und Aufbereitung der Daten für RAG

Die Datengrundlage für das prototypisch umzusetzende RAG-System besteht zum einen aus 18 anonymisierten Transkripten einer Interviewstudie zur Erfassung der Aktivitäten, Rollen, Anforderungen und Herausforderungen der involvierten Projekt-Akteure in 6 betrieblichen Teilprojekten im Kompetenzzentrum WIRKsam. Die Interviewergebnisse weisen eine hohe Informationsdichte und wertvolle situative Details auf, sind in ihrer Rohform jedoch nicht unmittelbar sinnvoll mit RAG zu verwerten. Füllwörter wie *„äh“* und *„ähm“* führen zu Rauschen sowie die zwecks Anonymisierung verwendeten Platzhalter wie z.B. *[Unternehmen xy]* zu semantischen Lücken, welche das Retrieval erschweren. Die Segmentierung der Daten (Chunking) ist aufgrund des teilstrukturierten Charakters der Interviews nicht trivial, kann jedoch anhand der Sprecherwechsel erfolgen. Um einem Kontextverlust vorzubeugen, besteht jeder Chunk aus einem Frage-Antwort-Paar.

Zum anderen werden, neben den Interviewergebnisse relevante Publikationen (Harlacher et al. 2024, Hanau 2025, Hanau & Feggeler 2025, Niehues & Feggeler 2024) verwendet, welche u.a. Teilergebnisse der Interviews in aggregierter und aufbereiteter Form aufgreifen (jedoch nicht mehr die Feingranularität und Detaildichte der „rohen“ Transkripte aufweisen). Weitere verwendete Publikationen thematisieren zusätzliche Erfahrungen aus dem Einführungsprozess der KI-Anwendungen im Rahmen von WIRKsam. Aufgrund der klaren Gliederung, zielgerichteter Verdichtung von Inhalten sowie kohärenter Formulierungen weisen die verwendeten Veröffentlichungen eine sehr gute Eignung für RAG auf. Herausforderungen ergeben sich bei längeren Absätzen, die mehrere Kernaussagen zu einer zentralen Fragestellung beinhalten. Hieraus einen Chunk zu generieren, könnte im Retrieval zu thematischen Vermischungen führen. Die Chunk-Größe sollte so gewählt werden, dass sie kleinstmöglich ausreichend Kontext für die Wiedergabe einer Kernaussage enthält. Analog hierzu erfolgt die Segmentierung der Veröffentlichungen anhand inhaltlich zusammenhängender Absätze. Entfernt werden dagegen inhaltlich nicht relevante oder redundante Teile der Dokumente wie Titel, Abstracts, Danksagungen und Autorenangaben. Die Verarbeitung von Abbildungen und Tabellen ist mit einem multimodalen Ansatz zwar technisch möglich, würde allerdings kaum inhaltlichen Mehrwert liefern. Die Erfahrungen und thematisierten Herausforderungen in den verwendeten Dokumenten sind schriftlich festgehalten, Abbildungen und Tabellen sind nur vereinzelt vorhanden und ergänzenden Charakters.

3.2 RAG-System

Neben weiteren Open-Source Frameworks wie LangChain, LlamaIndex ist Haystack spezifisch auf die Entwicklung skalierbarer RAG-Systeme ausgelegt und wird für den Prototyp verwendet.

Die Chunks (1.070) werden mit einem Sentence-Transformers-Modell eingebettet. Das RAG-System wird auf Dense Retrieval beschränkt, eine hybride Erweiterung um rein lexikalische Suchmethoden wie BM25 würde aufgrund der feingranularen

Segmentierung und umgangssprachlichen Charakteristik der Transkripte nicht zu besseren Ergebnisse führen. Aufgrund der geringen Dateigröße wurde für den Prototyp ein flüchtiger In-Memory-Embedding-Speicher und zugehöriger Retriever verwendet, eine Skalierung des Systems oder auch multimodale Erweiterung würde jedoch die Verwendung einer persistenten externen Vektordatenbank voraussetzen. Aufgrund der durch die Interviewstudie bedingten Vielzahl kleinerer Chunks wurde der Retriever-Parameter top-k für eine ausreichende Kontextabdeckung auf 30 gesetzt. Um die inhaltliche Qualität des Retrievals zusätzlich zu verbessern, wird ein Re-Ranking-Verfahren mittels Cross-Encoder verwendet. Das verwendete LLM ist Llama 3.1 8B. Im System-Prompt wird dem LLM die Rolle eines Assistenten für Mitarbeitende eines Forschungsverbundprojektes zugewiesen sowie die Anweisung, mögliche Herausforderungen des in der Query beschriebenen Vorhabens basierend auf dem bereitgestellten Kontext (den segmentierten Teilen der Interviewergebnisse sowie Publikationen) zu identifizieren und eine präzise Antwort zu generieren.

Für eine handlichere Bedienung wurde das System um eine einfache Gradio-UI erweitert.

4. Erprobung

Das Ziel eines solchen Systems soll die Identifikation erwartbarer Herausforderungen hinsichtlich eines zukünftigen KI-Forschungsverbundvorhabens basierend auf vergangenen Erfahrungen sein. Für die Erprobung des Systems sowie Bewertung der Antwortqualität werden zu diesem Zweck Ausschnitte aus der Vorhabenbeschreibung eines anlaufenden Forschungsverbundprojekts für die Entwicklung und Erprobung einer KI-Anwendung herangezogen. Für die Identifizierung möglicher Herausforderungen eignen sich hier insbesondere die Inhaltsbeschreibungen der einzelnen Arbeitspakete. Aus diesen wurden nach Entfernung etwaiger Instituts- und Unternehmensnamen exemplarisch knappe Zusammenfassungen erstellt. Diese Zusammenfassungen stellen das im Systemprompt des LLM bezeichnete Vorhaben dar, welches bewertet werden soll und als Query an das System übergeben wird. Die einzelnen Textteile sind absichtlich unterschiedlicher Länge und thematisieren folgende Spezifika des Projekts: Entwicklung der KI-Anwendung (1 Frage), Kommunikation & Koordination (2 Fragen), Arbeitsgestaltung (1 Frage), Kompetenz- und Personalentwicklung (1 Frage) sowie Transfer in die Praxis (1 Frage).

Abseits spezifischer Zielbeschreibungen soll das System ebenfalls allgemein gehaltene Fragen beantworten. Zu diesem Zweck wurden zwei zusätzliche Fragen wie z. B. „Was könnten mögliche Herausforderungen bei der Planung von regelmäßigen Projekttreffen sein?“ formuliert. Um die Kontexttreue und -relevanz zu überprüfen, wurden die Antworten basierend auf der Methode LLM-as-a-Judge hinsichtlich Faithfulness und Context Relevance bewertet. Diese automatisierte Bewertung erlaubt eine erste systematische Einordnung, eine Ergänzung durch qualitative Experteneinschätzungen ist jedoch notwendig.

Die Ergebnisse des Context Relevance Evaluators ergeben bei sechs von acht Antworten einen Wert über 0,83 (prozentuale Angabe). Dies belegt, dass die Retrieval-Komponente für die jeweilige Frage überwiegend relevante Chunks aus dem Dokumentenspeicher abruft und zur Generierung bereitstellt. Bei der Frage zum Transfer und zur Kompetenz- und Personalentwicklung lag der Wert bei 0,27 bzw. 0,35, was darauf schließen lässt, dass hier nicht ausreichend viele passende

Informationen im Dokumentenspeicher vorhanden sind. Ebenfalls können projektspezifische Termini in der Frage, welche so nicht in den Interviewtranskripten und Publikationen verwendet wurden, dazu führen, dass möglicherweise relevante Chunks nicht als solche erkannt werden. Die Werte des Faithfulness-Evaluators bzw. die Kontexttreue des LLM liegt bei allen Fragen bei mindestens 0,8 und in einigen Fällen sogar bei 1, was auf ein halluzinationsarmes Antwortverhalten hindeutet.

Betrachtet man die inhaltliche Tiefe bzw. Relevanz der Antworten, so geben diese zwar einen zielgerichteten Überblick über unterschiedliche mögliche Herausforderungen, sind jedoch eher allgemeingültig formuliert. Teilweise werden jedoch auch detaillierte Spezifika aus den Interviewtranskripten verwendet und sorgen für eine inhaltliche Differenzierung. Streckenweise werden nicht alle Aspekte der Frage in der jeweiligen Antwort adressiert, dies tritt vor allem bei den Fragen mit längerem Text und größerer Vielfalt unterschiedlicher Fachtermini auf. Kürzere Fragen mit einem klaren Teilfokus werden dagegen präzise beantwortet.

5. Diskussion & Fazit

Die prototypische Umsetzung des RAG-Systems verlief hinsichtlich des verwendeten Dokumentenumfangs zwar im kleinen Maßstab, lässt jedoch auf das Potenzial eines solchen Systems für die frühzeitige Antizipierung möglicher Herausforderungen zukünftiger KI-Forschungsverbundvorhaben schließen.

Die Realisierung dieses Potenzials ist abhängig von einer Skalierung des Systems. So könnten bspw. die in Niebuhr-Haak et al. 2026 behandelten Ergebnisse der Arbeitssystemanalysen sowie darüber hinaus zusätzliche Interviews mit Projektverantwortlichen und -beteiligten sowie die Dokumentationen von Entscheidungen in Meetings als Erweiterung der bisherigen Wissensbasis dienen. Zwecks projektübergreifender Differenzierung könnten darüber hinaus relevante Wissensquellen aus anderen KI-Projekten identifiziert und zu einer Wissensbasis aggregiert werden. Je vielschichtiger diese Basis, desto differenzierter kann das RAG-System Herausforderungen in einem neuen Kontext identifizieren. Die Skalierung des Systems birgt jedoch unterschiedliche Herausforderungen. Die Heterogenität unterschiedlichster Wissensquellen (z.B. Transkripte als Fließtext, Ergebnisse der Arbeitssystemanalyse als strukturierte Daten und Prozessdarstellungen als Bilddateien) impliziert einen mitunter deutlich erhöhten Aufbereitungsaufwand und setzt zudem multimodale Fähigkeiten des LLM voraus. Hierfür ist abhängig von Datenschutz und finanziellen Voraussetzungen entweder die Bereitstellung leistungsstarker Hardware für eine lokale Inferenz oder eine Cloud-Lösung vonnöten. Auch bei der Verarbeitung von reinen Textquellen profitiert die Antwortqualität sehr deutlich von einem leistungsstarkem LLM. Darüber hinaus ist es notwendig, ein systematisches Vorgehen für die Erhebung des Erfahrungswissens zu entwickeln sowie die Aktualität der Wissensbasis kontinuierlich zu prüfen.

Die Nutzbarmachung von Erfahrungswissen und darauf aufbauende Bewertung perspektivischer Risken kann zur zielgerichteten und zufriedenheitsförderlichen Gestaltung von Prozessen in KI-Forschungsverbundprojekten beitragen. Die für ein Projekt verfügbaren finanziellen Mittel könnten aufgrund der dadurch erzielten Zeitersparnis kosteneffizienter zum Einsatz kommen. Zu berücksichtigen sind jedoch die Herausforderungen der technischen Umsetzung sowie der Aufwand für die systematische Dokumentation und Aufbereitung des Erfahrungswissens.

6. Literatur

Arslan M, Ghanem H, Munawar S, Cruz C (2024) A Survey on RAG with LLMs.28th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2024). In: Procedia Computer Science 246: 3781–3790

Campbell C, Boscoe B, Do T (2025) AquiLLM: a RAG Tool for Capturing Tacit Knowledge in Research Groups. Preprint. https://arxiv.org/abs/2508.05648 Zugegriffen: 23.12.2025

Chen L-C, Pardeshi M S, Liao Y-X, Pai K-C (2025) Application of retrieval-augmented generation for interactive industrial knowledge management via a large language model. Computer Standards & Interfaces. Volume 94.

Hanau E (2025) Anforderungen an KI-Projektmanager im produzierenden Gewerbe - erfahrungsbasierte Fallbeispiele aus dem Projekt WIRKsam. In: Becker M, Dreher R, Frenz M & Windelband L (Hg.) Lern- und Arbeitsprozesse im Wandel: Transformation gewerblich-technischer Facharbeit und Berufsbildung. Bielefeld: 287

Hanau E, Feggeler N (2025) "Ich hab gedacht, das ist ein Thema von 1 bis 2 Jahren, dann setzen wir da ein Tool drauf und sind noch eine Nummer besser" - Anforderungen, Herausforderungen und Kompetenzbedarfe von KI-Projektmanagern im produzierenden Gewerbe. In: GfA (Hrsg) Arbeit 5.0: Menschzentrierte Innovationen für die Zukunft der Arbeit. Bericht zum 71. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 25.-27. März 2025, Aachen

Harlacher M, Hanau E, Hartmann L, Zohren M, Krüger A, Rezeay A, Feggeler N, Jeske T (2024) Prozesse, Mitarbeitende, Daten und Maschinen – Wie gelingt der Einsatz von KI in der Produktion in der Praxis?. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.). Die Arbeit von morgen: digital, intelligent, nachhaltig – effizient. Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V., Sankt Augustin (Hrsg.)

Kostis I, Schaus P (2025) Chronology-Driven RAG for Construction Meeting Minutes. The 37th Benelux Conference on Artificial Intelligence.

Lewis P, Perez E, Piktus A, Petroni F, Karpukhin V, Goyal N, Küttler H, Lewis M, Yih W-t, Rocktäschel T, Riedel S, Kiela D (2020) Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. In: Proceedings of the 34th International Conference on Neural Information Processing Systems: 9459 – 9474

Niebur-Haak, Feggeler N, Harlacher M, Hanau E (2026) Wissen in produzierenden Unternehmen KI-gestützt sichern und transferieren – Erkenntnisse aus dem Kompetenzzentrum WIRKSam. In: GfA (Hrsg) Menschengerechte Arbeitsgestaltung. Bericht zum 72. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 11.-13. März 2026, Kassel

Niehues S, Feggeler N (2024) Rahmenbedingungen organisationsübergreifender Zusammenarbeit im New Normal: Erkenntnisse aus dem Kompetenzzentrum WIRKsam. In: GfA (Hrsg) Arbeitswissenschaft in-the-loop: Mensch-Technologie-Integration und ihre Auswirkung auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung. Bericht zum 70. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft vom 06. – 08. März 2024, Stuttgart

Ojima Y, Skaji H, Nakamura T, Sakata H, Seki K, Teshigawara Y, Yamashita M, Aoyama K (2024) Knowledge Management for Automobile Failure Analysis Using Graph RAG. 2024 IEEE International Conference on Big Data (BigData), Washington: 6624-6631

Sahin G, Varol K, Pak B K (2024) LLM and RAG-Based Question Answering Assistant for Enterprise Knowledge Management. 9th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK). Antalya:1-6

Vaira E, Chavales G (2025) Designing a Project-Aware RAG Chatbot for Contextual Q&A and Automated Documentation. Masterarbeit. Lund

Danksagung: Der Beitrag ist im Projekt „Kompetenzzentrum WIRKsam“ (FKZ: 02L19C600) entstanden; es wird im Rahmen der Fördermaßnahme „Regionale Kompetenzzentren der Arbeitsforschung“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für diesen Beitrag liegt bei den Autor*innen.

Demonstratoren zur Verringerung negativer Emotionen gegenüber Künstlicher Intelligenz in der Produktion: Eigenschaften und Anforderungen auf Basis von Personas

Jennifer LINK, Markus HARLACHER, Sascha STOWASSER

Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V.
Uerdinger Str. 56, D-40474 Düsseldorf

Kurzfassung: Künstliche Intelligenz (KI) kann bei menschenzentrierter Gestaltung Vorteile für Beschäftigte bieten, wird jedoch insbesondere bei Beschäftigten in der Produktion mit negativen Emotionen wie Sorge, Unsicherheit und Angst verbunden. KI-Demonstratoren können zur Reduktion dieser Emotionen und zur Förderung der Akzeptanz beitragen, indem sie Mehrwert, Grenzen und Anwendungsmöglichkeiten von KI praxisnah vermitteln, sind in ihrer gezielten Gestaltung bislang jedoch wenig erforscht. Der Beitrag adressiert diese Forschungslücke, indem auf Basis von vier Personas in einem Workshop mit 15 Teilnehmenden Anforderungen an KI-Demonstratoren zur Reduktion negativer Emotionen identifiziert und priorisiert werden. Insgesamt wurden 32 Eigenschaften und Anforderungen generiert und sechs thematischen Clustern zugeordnet, die sich auf Nutzererlebnis, arbeitsbezogene Auswirkungen, Nutzen und Grenzen von KI, technisches Verständnis sowie Transparenz und Kontrolle konzentrieren.

Schlüsselwörter: Künstliche Intelligenz, KI-Demonstrator, Negative Emotionen, Anforderungen, Produktion, Technologieakzeptanz

1. Motivation: Negative Emotionen gegenüber KI bei der Arbeit und der Einsatz von Demonstratoren zur Schaffung von Akzeptanz

Künstliche Intelligenz (KI) kann in der Produktion zur Entlastung von Beschäftigten beitragen, indem beispielsweise monotone Tätigkeiten reduziert (Giering 2022) oder Entscheidungen unterstützt werden (Plathottam et al. 2023). Dennoch zeigen Studien, dass Beschäftigte ohne Führungsverantwortung in der deutschen Metall- und Elektroindustrie beim Gedanken an den Einsatz von KI bei der Arbeit negative Emotionen empfinden. Die geäußerten Emotionen sind vor allem Sorgen und Bedenken, Unsicherheit, Angst sowie Überforderung. Gründe für diese Reaktionen sind der mögliche Arbeitsplatzverlust, fehlende Datensicherheit, Kontrollverlust, Unzuverlässigkeit der Technologie, Kontrolle der Arbeit und höherer Arbeitsintensität, Abhängigkeit von der Technik sowie fehlenden Kompetenzen. (Link & Stowasser 2024)

Zur Reduktion negativer Emotionen lassen sich Methoden zur Förderung der Akzeptanz von KI einsetzen. Dazu zählen beispielsweise technische und nicht-technische Qualifizierung, frühe Partizipation und kontinuierliche Kommunikation, eine Führungskultur, die Lernen, Vertrauen und Kooperation unterstützt sowie die Sicherstellung von benutzerfreundlichen und erklärbaren KI-Systemen. Zu Beginn des Einführungsprozesses ist es außerdem wichtig, den Mehrwert von KI zu verdeutlichen – etwa durch Kommunikation des Nettonutzens, Erwartungsmanagement, die Darstellung

von Grenzen der KI sowie das Aufzeigen konkreter Entlastungspotenziale. Praxisbeispiele und Demonstratoren eignen sich hierfür besonders. (Link & Stowasser 2025)

Ein KI-Demonstrator ist ein im wissenschaftlich-technischen Kontext entwickeltes Artefakt, das ein spezifisches Problem zusammen mit einer KI-basierten Lösung veranschaulicht. Im Gegensatz zu einem Prototyp liegt der Fokus auf interaktiver Vermittlung, Reflexion und Kompetenzaufbau, wodurch er als Grenzobjekt den Austausch zwischen Wissenschaft, Technik und Praxis fördert. (vgl. Link et al. im Druck)

Obwohl KI-Demonstratoren in der Praxis häufig eingesetzt werden, existiert bislang wenig Literatur zur Gestaltung solcher Demonstratoren (Link et al. im Druck). Der vorliegende Beitrag adressiert die Forschungslücke, indem Eigenschaften von und Anforderungen an KI-Demonstratoren identifiziert werden. Hieraus leitet sich die Forschungsfrage ab: Welche Eigenschaften und Anforderungen müssen KI-Demonstratoren erfüllen, um negative Emotionen gegenüber KI in der Produktion zu reduzieren? Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage wird zunächst der Begriff KI-System eingeordnet. Anschließend werden die methodische Vorgehensweise und die daraus resultierenden Ergebnisse vorgestellt und diskutiert sowie abschließend ein Ausblick gegeben.

2. Methode: Persona-basierte Anforderungsanalyse

Zur Ableitung der Eigenschaften von und Anforderungen an KI-Demonstratoren eignen sich Personas, da sie Zielgruppen und deren Bedürfnisse verdeutlichen und benutzerfreundliche Designs unterstützen (Miaskiewicz & Kozar 2011). Basierend auf den in Kapitel 1 genannten Emotionen und deren Gründe wurden vier Personas erstellt. Dabei enthält jede Persona eine realitätsnahe Motivation, klar definierte Schmerzpunkte sowie relevante Hintergrundmerkmale und Kommunikationspräferenzen (Kirchem 2021). Eine Zusammensfassung der Personas ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: *Zusammengefasste Darstellung der erstellten Personas.*

Eigenschaft	**Thomas Wiegand (61 Jahre)**	**Seda Aydin (39 Jahre)**	**Marco Kowalski (27Jahre)**	**Katrin Neubauer (51 Jahre)**
Branche, Tätigkeit	Maschinenbau, CNC-Maschinenbediener	Automotive-Zulieferer, Facharbeiterin Qualitätskontrolle	Technische Textilproduktion, Maschinen- und Anlagenführer	Lebensmittelproduktion, Linienführerin Verpackungsstraße
Motivation	Arbeitsplatzsicherheit, kontrollierbare Produktionsprozesse, Anerkennung von Erfahrung	Fehlerfreiheit und fachliche Verantwortung, Professionalität beweisen	Kontrolle über digitale Systeme, stabile Arbeitsbelastung und Prozesssicherheit	Stabile und beherrschbare Abläufe, handlungsfähig bleiben und die Linie sicher führen
Schmerzpunkte	Angst vor Arbeitsplatzverlust und fehlender Datensicherheit (Schutz der Betriebsgeheimnisse)	Sorgen und Bedenken wegen Kontrollverlust und Unzuverlässigkeit	Unsicherheit wegen möglicher Kontrolle der Arbeit und höherer Arbeitsintensität	Überforderung wegen Abhängigkeit von der Technik und fehlenden Kompetenzen
Kommunikationsverhalten	Persönlich, ohne Fachjargon	Sachlich, faktenbasiert, technisch präzise	Digital, interaktiv, transparente Darstellung komplexer Zusammenhänge	Direkt, praktisch, einfache Sprache

Anschließend wurden in einem Workshop mit 15 Teilnehmenden Eigenschaften von und Anforderungen an KI-Demonstratoren anhand der 4 Personas erarbeitet. Der Teilnehmendenkreis umfasste 13 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, eine wissenschaftliche Hilfskraft und eine Auszubildende aus den Disziplinen Ingenieurswesen, Soziologie, Arbeitswissenschaft, Psychologie und Technikkommunikation und Büromanagement. Alle Teilnehmenden sind am selben Institut tätig und der Workshop fand im Dezember 2025 statt. Die Bearbeitung erfolgte in drei Vierergruppen und einer Dreiergruppe. Jede Gruppe bearbeitete parallel eine Persona.

Die Vorgehensweise zur Bearbeitung der Persona orientiert sich an den Phasen *Verstehen* und *Definieren* des Design Thinking (vgl. Hasso Plattner Institute of Design at Stanford 2010). Nach einer Einführung zum Ziel des Workshops umfasste dieser die Schritte: 1.1 Vertiefung des Persona-Verständnisses, 1.2 Formulierung anforderungsorientierter Problemfragen, 2.1 Generierung von Anforderungen sowie 2.2 Priorisierung der Anforderungen (siehe Abbildung 1).

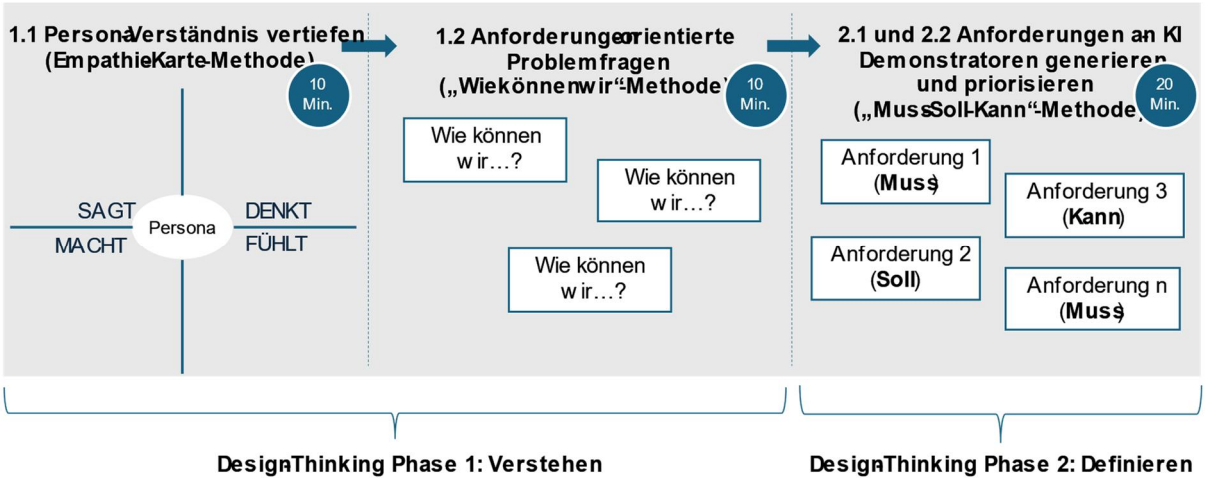


***Abbildung 1**: Workshop-Ablauf zur Generierung der Anforderungen an KI-Demonstratoren.*

In Phase 1.1 wurde die Empathie-Karten-Methode genutzt (vgl. Peng 2022), in 1.2 die „Wie-können-wir“-Methode (vgl. Peng 2022). In Phase 2.1 erfolgte die Formulierung von Anforderungen anhand einer vorgegebenen Definition des Begriffs Anforderungen mit Positiv- und Negativbeispielen sowie Leitfragen. Hierbei wurde der Begriff „Anforderung“ wie folgt definiert: „Anforderungen sind detaillierte Beschreibungen von Bedingungen oder Fähigkeiten, die ein System (= KI-Demonstrator) erfüllen muss. Sie entstehen durch die Identifikation von Bedürfnissen und Erwartungen der Stakeholder (= Persona). Sie beschreiben, was das System leisten muss, nicht wie es umgesetzt wird“ (vgl. Pohl & Rupp 2021). Abschließend erfolgte in Phase 2.2 die Priorisierung der Anforderungen mittels einer vereinfachten Variante der „MoSCoW“-Methode (vgl. Agile Business Consortium 2014). Die Vereinfachung bestand darin, dass die Anforderungen ausschließlich den Kategorien „Muss, Soll und Kann“ zugeordnet wurden.

Zur Darstellung der Anforderungen wurde ein mehrstufiges Vorgehen gewählt. Zunächst wurden die identifizierten Anforderungen für jede Persona digitalisiert. Anschließend wurden die Anforderungen in Clustern sortiert. Innerhalb der Cluster wurden inhaltliche Mehrfachnennungen synthetisiert und in übergeordnete Anforderungen überführt ausgewiesen wird. Abschließend erfolgte eine Vereinheitlichung der Formulierungen, um eine konsistente und vergleichbare Darstellung sicherzustellen.

3. Ergebnisse: Eigenschaften von und Anforderungen an KI-Demonstratoren zur Reduktion negativer Emotionen

Im Folgenden werden beispielhaft einige Aussagen aus der Empathie-Karten-Methode sowie aus der Wie können wir-Methode dargestellt. Im Anschluss werden die zusammengefassten Anforderungen vertieft dargestellt.

Die Empathie-Karte diente dazu, dass sich die Workshopteilnehmenden mehr in die Persona hineinversetzen können. Dabei entstanden Inhalte wie beispielsweise „Thomas Wiegand sagt „KI kann das nicht!“ oder Seda Aylin denkt „Meine eigene Arbeit ist zuverlässiger als die von KI“ oder „Marco Kowalski hinterfragt die KI-Einführung“ oder „Katrin Neubauer fühlt Misstrauen“.

Aus diesen beispielhaft aufgeführten Aussagen aus den Empathie-Karten wurden anschließend anforderungsorientierte Problemfragen formuliert. Dabei wurden insgesamt 37 „Wie können wir-Fragen“ erarbeitet. Darunter sind beispielsweise folgende Fragen: „Wie können wir zeigen, was die KI kann?“, „Wie können wir zeigen, dass die KI richtig funktioniert?“, „Wie können wir die Auswirkungen des KI-Systems auf die Arbeit erlebbar machen?“ sowie „Wie können wir ein Gefühl von Sicherheit vermitteln?“.

Die aus den „Wie können wir-Fragen“ abgeleiteten Eigenschaften von und Anforderungen an KI-Demonstratoren sind in Tabelle 2 geclustert dargestellt.

Tabelle 2: *Priorisierte und geclusterte Eigenschaften von und Anforderungen an KI-Demonstratoren zur Reduktion von negativen Emotionen gegenüber KI am Arbeitsplatz (bei gruppenübergreifender Mehrfachnennung einer Anforderung ist die Anzahl der Nennung in eckigen Klammern angegeben).*

Cluster	**M**uss **S**oll **K**ann	Eigenschaften und Anforderungen Der KI-Demonstrator…
Verständlichkeit, Technische Details und Erklärbarkeit von KI	M	verdeutlicht, dass KI trotz "Intelligenz" nur ein Computerprogramm ist.
	M	macht die Funktionsweise von KI-Entscheidungen sichtbar und erklärt sie.
	M	erklärt KI ohne Fachbegriffe und Abkürzungen.
	M	vermittelt ein Verständnis der allgemeinen Funktionsweise der KI-Technologie. [2x]
	K	zeigt ein Angebot an tiefergehenden technischen Details zur KI-Technologie.
	K	erläutert, wie das Datenmanagement funktioniert.
Nutzen, Potenziale, Grenzen und Risiken von KI	M	zeigt Potenziale genauso wie Grenzen des KI-Einsatzes auf. [2x]
	M	zeigt deutliche Vorteile des KI-Einsatzes. [3x]
	M	zeigt, dass auch bei komplexen technischen Prozessen KI einen Mehrwert bieten kann.
	S	vergleicht die Zuverlässigkeit und die Fehlerquote der KI mit dem Menschen.
	S	zeigt Risiken transparent auf.
	K	zeigt, wie gewonnene Freiräume für Menschen konkret genutzt werden können.
Veränderung der Arbeit und Rolle des Menschen	M	zeigt KI in konkreten betrieblichen Prozessen/ Arbeitsbereichen. [2x]
	M	stellt die Arbeitsrolle in Kooperation mit KI und die Nettoauswirkungen auf die Tätigkeit dar.
	M	zeigt, dass Nutzende die Entscheidungshoheit/ Handlungsführerschaft behalten [2x]
	M	zeigt, wie sich der Arbeitsprozess verändern wird (inkl. Benötigter Skills).
	M	zeigt, dass es eine Feedbackmöglichkeit zu KI-Ergebnissen und eine darauf basierende Anpassung gibt.
	M	simuliert Fehler und Störungen des KI-Systems und zeigt den Umgang damit.

	S	zeigt, dass ein KI-System an die Anforderungen des Menschen angepasst werden kann.
	S	zeigt, dass jederzeit eine Eingriffsmöglichkeit in das KI-System möglich ist.
	S	stellt Bezug zu eigenen Tätigkeiten/ dem eigenen Berufsbild her. [3x]
Demonstrator-Gestaltung und Nutzererlebnis	M	macht KI erlebbar.
	M	ist einfach und übersichtlich in der Bedienung.
	M	ist ohne (KI-)Vorwissen nutzbar.
	M	vermittelt Freude durch kleine, schrittweise Erfolgserlebnisse.
	M	wird vom Menschen betreut, damit weniger digital/ abstrakt.
	M	macht transparent, ob/welche personenbezogene Leistungsdaten erfasst werden können.
	S	ist ergonomisch gestaltet
	S	ist interaktiv gestaltet
Transparenz, Kontrolle und Verantwortung	M	zeigt transparent, welche Daten die KI nutzt (wo sie gespeichert sind und wer sie einsehen kann)
	M	zeigt, dass bei geringer KI-Sicherheit ein menschliches Review durchgeführt wird
	M	macht transparent, ob/ welche personenbezogenen Leistungsdaten erfasst werden können

Die Cluster bündeln inhaltlich zusammengehörige Anforderungen und dienen der besseren Übersicht und Einordnung. Die identifizierten Cluster adressieren die Verständlichkeit und Erklärbarkeit von KI, die transparente Darstellung von Nutzen, Grenzen und Risiken, die Auswirkungen auf Arbeit und Rolle des Menschen, die nutzerzentrierte Gestaltung von KI-Demonstratoren sowie Transparenz, Kontrolle und Verantwortung im Umgang mit KI-Systemen.

Innerhalb der Cluster wurden insgesamt 32 Eigenschaften und Anforderungen identifiziert, wobei der Schwerpunkt auf den Clustern Gestaltung und Nutzererlebnis, Veränderung der Arbeit und Rolle des Menschen sowie Nutzen, Potenziale, Grenzen und Risiken von KI liegt. Zudem gibt es Anforderungen, die Gruppen-unabhängig mehrfach genannt wurden. Dazu zählen das Aufzeigen der Potenziale und Grenzen des KI-Einsatzes, die Darstellung der Vorteile des KI-Einsatzes, die Veranschaulichung konkreter betrieblicher Prozesse und Arbeitsbereiche, in denen KI eingesetzt wird, sowie die Sicherstellung der Entscheidungs- und Handlungshoheit der Nutzenden. In der Priorisierung zeigt sich eine deutliche Häufung von Muss-Anforderungen: 68,8 % der Anforderungen wurden als Muss-Anforderungen, 21,9 % als Soll-Anforderungen und 9,3 % als Kann-Anforderungen klassifiziert.

4. Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass der Großteil der identifizierten Anforderungen als Muss-Anforderungen klassifiziert wurde, was auf einen hohen Anspruch an den KI-Demonstrator hinweist. Besonders stark vertreten sind einerseits Anforderungen im Cluster Veränderung der Arbeit und Rolle des Menschen sowie das Darstellen des Nutzens, der Potenziale, Grenzen und Risiken von KI. Das entspricht den in Kapitel 1 diskutierten Befunden, wonach insbesondere zu Beginn der KI-Einführung die Transparenz über Mehrwert, Grenzen und Auswirkungen auf die Arbeit von zentraler Bedeutung ist. Andererseits liegt ein weiterer thematischer Fokus auf Anforderungen zum Nutzererlebnis. Dies unterstreicht die Bedeutung einer nutzerzentrierten Gestaltung, die es auch Personen ohne KI-Vorwissen ermöglicht, den Demonstrator zu nutzen. Auffallend ist weiterhin, dass ein Großteil der generierten Anforderungen trotz dem Fokus der Personas auf negative Emotionen auch auf die allgemeine Gestaltung von KI-Demonstratoren zutreffen.

Trotzdem weist die Studie mehrere Limitationen auf. Die entwickelten Personas basieren ausschließlich auf den im Rahmen der Studie von Link und Stowasser erhobenen emotionalen Reaktionen sowie deren Begründungen und nicht auf vertiefenden Analysen Beschäftigter aus der Produktion. Zudem nahmen am Workshop zwar Expertinnen und Experten aus verschiedenen Fachrichtungen teil, jedoch ausschließlich aus dem wissenschaftlichen Kontext, sodass betriebliche Perspektiven unberücksichtigt blieben. Darüber hinaus stellen einige der erarbeiteten Inhalte trotz bereitgestellter Definitionen und Strukturierungshilfen zum Begriff „Anforderung“ eher Gestaltungsprinzipien und didaktische Zielsetzungen als eindeutige, überprüfbare Anforderungen dar. Zukünftige Arbeiten sollten daher darauf abzielen, diese Zielsetzungen in konkrete, messbare Anforderungen zu überführen, um darauf aufbauend KI-Demonstratoren zur Reduktion negativer Emotionen gegenüber KI am Arbeitsplatz gezielt zu entwickeln.

5. Literatur

Agile Business Consortium (2014) MoSCoW Prioritisation. DSDM Project Framework. Zugriff: 07.01.2026. https://www.agilebusiness.org/dsdm-project-framework/moscow-prioririsation.html

Giering O (2022) Künstliche Intelligenz und Arbeit: Betrachtungen zwischen Prognose und betrieblicher Realität. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 76:50–64. https://doi.org/10.1007/s41449-021-00289-0

Hasso Plattner Institute of Design at Stanford (2010) Design Thinking Process. Zugriff: 07.01.2026. https://web.stanford.edu/~mshanks/MichaelShanks/files/509554.pdf

Kirchem M (2012) Personas – Nutzerprofile für die Produktentwicklung. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg.

Link J, Stowasser S (2024) Negative Emotions Towards Artificial Intelligence in the Workplace – Motivation and Method for Designing Demonstrators. In: Degen H, Ntoa S (Hrsg) Artificial Intelligence in HCI. HCII 2024. Lecture Notes in Computer Science, vol 14735. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-60611-3_6

Link J, Stowasser S (2025) Acceptance of AI in the workplace: Literature analysis and process-oriented methods to foster organizational acceptance and trust of AI. In: Ahram T, Karwowski W & Kalra J (Hrsg.) Human Factors in Design, Engineering, and Computing. AHFE (2025) International Conference. AHFE Open Access, vol 199. AHFE International, USA. https://doi.org/10.54941/ahfe1006926

Link J, Feggeler N, Harlacher M, Stowasser S (im Druck) Making AI Understandable: Systematisation of AI Demonstrators in the Production Context. In: Proceedings of the 7th International Conference on Industry of the Future and Smart Manufacturing (IFSM 2025).

Miaskiewicz T, Kozar KA (2011) Personas and user-centered design: How can personas benefit product design processes? Design Studies 32:417–430. https://doi.org/10.1016/j.destud.2011.03.003
Peng F (2022) Design Thinking: From Empathy to Evaluation. In: Herath D, St-Onge D (Hrsg) Foundations of Robotics. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1983-1_3

Plathottam SJ, Rzonca A, Lakhnori R, Iloeje CO (2023) A review of artificial intelligence applications in manufacturing operations. Journal of Advanced Manufacturing and Processing 5(3):e10159. https://doi.org/10.1002/amp2.1015

Pohl K, Rupp C (2021) Basiswissen Requirements Engineering: Aus- und Weiterbildung nach IREB-Standard zum Certified Professional for Requirements Engineering Foundation Level. Heidelberg: dpunkt.verlag. ISBN 978-3-86490-814-9.

Danksagung: Die Autoren danken dem Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) für die Förderung des Projekts WIRKsam (02L19C600ff), in dessen Rahmen dieser Beitrag entstanden ist. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin und den Autoren.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Pfeil oder Prozent? Der Einfluss von verschiedenen Modalitäten der Unsicherheitskommunikation

Antonia MARKUS, Sophie KUCHENBECKER, Esther BOROWSKI, Ingrid ISENHARDT

Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen University
Campus-Boulevard 30, D-52074 Aachen

Kurzfassung: Die qualitative Studie zur Unsicherheitskommunikation (UK) in KI-DSS untersucht im Rahmen einer Interviewreihe mit 13 Gesprächspartnern den Trade-Off zwischen numerischen Unsicherheitsangaben und visuellen Pfeil-Indikatoren. Die Ergebnisse belegen, dass numerische Scores analytisch empfunden werden. Während visuelle Indikatoren zwar schneller erfasst werden, jedoch entsteht bei den Interviewten der Eindruck, dass die Gefahr der unangemessenen Vereinfachung besteht. Die Studie schlussfolgert, dass zukünftige KI-DSS adaptiv sein müssen, um dem Nutzer die Wahl zwischen Effizienz (visuell) und Präzision (numerisch) zu ermöglichen.

Schlüsselwörter: Unsicherheitskommunikation, KI-DSS, Vertrauenskalibrierung

1. Motivation

Der zunehmende Einsatz von KI-basierten Entscheidungsunterstützungssystemen (KI-DSS) in verschiedenen Domänen erfordert eine transparente und nachvollziehbare Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Trotz der wachsenden Leistungsfähigkeit komplexer Modelle künstlicher Intelligenz (KI-Modell) resultiert fehlende Transparenz in zentralen Herausforderungen für die Nutzerakzeptanz und das notwendige Vertrauen (Mersha et al., 2024). Kompa et al. (2021) argumentieren zum Beispiel, dass das Fehlen von Unsicherheitsangaben in medizinischen KI-Modellen das Vertrauen gefährdet, und fordern explizite Visualisierungen.

Die Unsicherheitskommunikation (UK) stellt einen Schlüsselansatz zur Steigerung der Transparenz dar. Sie dient der systematischen Vermittlung der Ungewissheit des KI-Modells an den Nutzer. Sie soll Nutzern ermöglichen, die Wahrscheinlichkeit der Korrektheit einer KI-Antwort einzuschätzen und dadurch ihre Entscheidungen evidenzbasiert anzupassen.

Es besteht eine Forschungslücke in der differenzierten, qualitativen Betrachtung der verschiedenen UK-Modalitäten, insbesondere des Vergleichs von numerischen Unsicherheitsangaben (Prozentzahlen) und visuellen Indikatoren (z.B. Pfeilen). Die quantitative Forschung kann zwar messen, *dass* bestimmte numerische Formate Nutzer verwirren – ein Phänomen, das mit der Statistical Illiteracy korreliert –, sie kann aber nicht erklären, *wie* Nutzer diese Verwirrung subjektiv interpretieren und *warum* sie bestimmte visuelle Heuristiken bevorzugen.

Diese Arbeit schließt diese Lücke, indem sie qualitative Einblicke in die Nutzererfahrung liefert und die individuellen Präferenzen sowie kognitiven Prozesse beleuchtet. Der folgende Stand der Technik wird diese methodische Lücke detailliert ausführen

und den Beitrag der vorliegenden Studie zur Entwicklung unterschiedlicher UK-Formate (wie den visuellen Pfeilen) darlegen.

2. Stand der Forschung

2.1 Dominanz der quantitativen Forschung und methodischen Limitationen

Die überwiegende Mehrheit der empirischen Studien zur UK und der Mensch-KI-Interaktion stützt sich auf quantitative Forschungsmethoden, insbesondere Laborexperimente. Der Fokus liegt darauf, den Effekt verschiedener UK-Formate auf messbare Kennzahlen zu bestimmen. Typische abhängige Variablen umfassen hierbei die Entscheidungsperformance (Cau et al., 2023; Lee & Tok, 2025) und die Zustimmungsrate zur KI-Empfehlung (Buçinca et al., 2021; Bussone et al., 2015). Zwar zeigen diese Studien, dass die Leistung der Nutzer durch KI-Unterstützung steigt; jedoch weisen sie Limitationen auf.

Zum einen mangelt es an Prozessverständnis, da die objektiven Maße oft nur das Ergebnis der Entscheidungsfindung, nicht aber den zugrunde liegenden kognitiven Prozess und die subjektive Interpretation der Unsicherheitskommunikation durch die Nutzenden erfassen. Dadurch bleibt unklar, wie oder warum eine bestimmte Darstellung zu einer Fehlentscheidung führt. Außerdem besteht trotz der Vielzahl an Studien keine Konsistenz bezüglich des effektivsten UK-Formats. Dies liegt häufig daran, dass die Kontextabhängigkeit (Aufgabetyp, Domänenexpertise der Nutzer) der Wahrnehmung nicht ausreichend berücksichtigt wird. Außerdem fokussiert sich die Forschung primär auf die Effizienz der Entscheidung und weniger auf die Erfahrung und das subjektive Verständnis der Nutzenden.

2.2 Die Herausforderung numerischer UK-Formate

Ein zentraler Befund aus der Forschung ist, dass numerische Formate (z. B. Prozentzahlen oder Wahrscheinlichkeiten), die häufig genutzt werden, von Nutzenden nicht intuitiv verstanden werden (Bussone et al., 2015). Dieses Problem korreliert stark mit dem statistischen Analphabetismus (Statistical Illiteracy). So zeigten Gigerenzer et al. (2007), dass sowohl Laien als auch Experten Schwierigkeiten haben, Einzelereigniswahrscheinlichkeiten korrekt zu interpretieren. Die Übertragung dieses Problems auf die Interpretation von Unsicherheitsangaben kann Fehlinterpretationen der Akkuratheit der Systemangaben bedeuten. So zeigten zum Beispiel Feng und Boyd-Graber (2019), dass Nutzer numerische Scores nur schwer interpretieren und daraufhin handeln können.

Außerdem kann numerische UK zu einem unkalibrierten Vertrauen führen, da die numerische Angabe entweder ignoriert oder überbewertet wird, was in einer Nichtnutzung oder Falschnutzung des Systems resultiert (Cao et al., 2024).

2.3 Vergleich der UK-Modalitäten: Numerisch vs. Visuell

Angesichts der kognitiven Hürden bei numerischen Formaten gibt es als Alternative visuelle Darstellungen. Die Wahl der Modalität kann als ein Trade-Off zwischen Präzision und kognitiver Verständlichkeit betrachtet werden. Während numerische Scores eine hohe metrische Präzision bieten, führen sie aufgrund von Statistical Illiteracy oft zu Fehlinterpretationen und übermäßigem Vertrauen. Visuelle Indikatoren wie Pfeile

bieten hingegen eine hohe intuitive Verständlichkeit und reduzieren die kognitive Last; diese Vereinfachung führt jedoch zu einem Informations- und Genauigkeitsverlust.

Empirische Vergleiche visueller Kodierungen belegen diesen Trade-Off deutlich. Die Untersuchung von Reyes et al. (2025) zeigte, dass die Kodierung der Unsicherheit über einen visuellen Indikator (wie die Größe) den Nutzern eine höhere Zuversicht in ihre Entscheidungsfindung vermittelte. Die Visualisierung von Unsicherheit führte insgesamt zu einer signifikanten Steigerung des Vertrauens in das KI-System. Besonders hoch waren der Nutzen und der Vertrauensgewinn bei Teilnehmern, die dem Einsatz von KI ursprünglich negativ gegenüberstanden.

2.4 Forschungsbedarf

Angesichts der angeführten Limitationen der rein quantitativen Ansätze wird eine Ergänzung durch qualitative Methoden als sinnvoll erachtet.

Die aktuelle Forschungslücke liegt somit in der geringen Verfügbarkeit von tiefgehenden, kontextualisierten qualitativen Daten zur Unsicherheitskommunikation. Diese Arbeit adressiert diese Lücke durch einen Mixed-Methods-Ansatz. Dieser besteht darin, dass die qualitative Erhebung (Interviews) unmittelbar an ein quantitatives Entscheidungsexperiment anschließt. Dieses Vorgehen ermöglicht eine tiefgehende Analyse der Nutzerwahrnehmung und der Präferenz der Unsicherheitsdarstellung, da die Befragten nach der Bearbeitung verschiedener Szenarien ihre Wahrnehmungen unmittelbar äußern können. Speziell untersucht diese Arbeit die Akzeptanz und Verständlichkeit von numerischen Prozentzahlen im Vergleich zu visuellen Pfeil-Indikatoren.

3. Methodisches Vorgehen

Diese qualitative Studie ist eine Post-Hoc-Befragung eines quantitativen Experiments (noch nicht veröffentlicht), welche sich mit den Effekten verschiedener Ausprägungen von Unsicherheitskommunikation (Ranking der Antwortmöglichkeiten, visuelle Darstellung durch Pfeile und numerische Darstellung durch Prozentzahlen) beschäftigt.

3.1 Forschungsdesign

Dabei wurde in einem Between-Subjects-Design untersucht, ob die Unsicherheitskommunikation in unterschiedlichen Ausprägungen einen Einfluss auf die Leistung, Aufgabenbelastung und Einstellung auf KI hat. Die Aufgabe der Teilnehmenden war es, zu E-Mail-Anfragen in einem technischen Kundensupport-Szenario aus vorformulierten Antwortmöglichkeiten die Passende auszusuchen. Die KI unterstützte sie, indem sie die vorhandenen Bausteine in einer Liste anordnete. Dabei war der von dem KI-System am wahrscheinlichsten Antwortbaustein als erstes Item der Liste angeordnet. Die drei Bedingungen unterschieden sich darin, ob die Probanden zusätzlich noch eine UK in Form von numerischen Unsicherheitsangaben oder Pfeilen erhielten oder sie lediglich die Sortierung der KI erhielten. Nach dieser KI-Interaktion wurden von den ursprünglich $N = 150$ Teilnehmenden $n = 13$ in einem Interview gezielt zu ihren Erfahrungen zu ihrer KI-Interaktion, spezifisch zu der Modalität der Unsicherheitskommunikation, befragt.

3.2 Stichprobenbeschreibung und Datenerhebung

Für die qualitative Erhebung wurden Teilnehmer rekrutiert, die zuvor am quantitativen Experiment teilgenommen hatten. Die Stichprobe umfasste sieben männliche (54,5%) und sechs weibliche (45,5%) Personen im Alter von 21 bis 60 Jahren (*M* = 40.3). Die Teilnehmer wiesen eine breite Bildungs- und Berufsvielfalt auf (u.a. fünf mit Abitur, drei mit Hochschulabschluss), mit Hintergründen aus den Bereichen Verkehr/Logistik, Medien, Bau und Gesundheitswesen. Die Verteilung der Befragten auf die experimentellen Bedingungen (UK-Formate Zahl, Pfeil oder Ranking) war nahezu gleichmäßig.

Es wurde ein semi-strukturierter Interviewleitfaden genutzt, der sicherstellte, dass die Kernthemen abgedeckt wurden, aber gleichzeitig Raum für vertiefende Nachfragen bot. In den Interviews wurden mehrere Fragen gestellt. Diese Studie fokussiert sich auf die Kernfrage: „Hat Ihnen die Unsicherheitskommunikation geholfen?“, was teilweise von genaueren Nachfragen gefolgt wurde. Zentrale Themen waren zudem die Wahrnehmung spezifischer Modalitäten (Kommentare zu Pfeilen und Kommentare zu Prozentzahlen). Das Interview wurde aufgezeichnet und wortwörtlich transkribiert.

3.3 Datenanalyse

Zur Analyse der Interviewdaten wurde eine thematische Analyse (orientiert an Braun & Clarke, 2012) mit Fokus auf die Identifikation der genannten Präferenzen und Kritikpunkte durchgeführt. Dieses Vorgehen war angemessen, um die subjektiven Wahrnehmungen der Teilnehmenden in Bezug auf die verschiedenen Modalitäten der Unsicherheitskommunikation systematisch zu erfassen.

Das Analysevorgehen gliederte sich in folgende Schritte:

- Transkription und Familiarisierung: Die Interviews wurden zunächst wortwörtlich transkribiert und zur vollständigen Vertrautheit mit den Daten mehrfach durchgelesen.
- Kodierung: Die Äußerungen der Teilnehmenden wurden im Hinblick auf die Kernthemen (Pfeile, Prozentzahlen, Ranking, Vertrauen) offen kodiert. Dabei wurden die Codes induktiv direkt aus dem Material heraus entwickelt (z.B. Pfeil ist schneller, Prozentzahl verwirrt).
- Kategorienbildung: Die entwickelten Codes wurden anschließend zu übergeordneten, thematischen Kategorien konsolidiert (z.B. Vorteile visuelle Kommunikation, Kritik mangelnde Eindeutigkeit numerisch, Wunsch nach mehr Transparenz).
- Synthese der Kategorien: Die einzelnen kodierten Äußerungen wurden je Kategorie zusammengeführt und vergleichend betrachtet, um thematische Tendenzen und dominante Argumentationslinien herauszuarbeiten.

4. Ergebnisse

Die Analyse der Interviews ergab Präferenzen und Kritikpunkte hinsichtlich der Unsicherheitskommunikations-Modalitäten, die in drei Hauptkategorien zusammengefasst werden können: Positive/hilfreiche Aussagen, negative/kritische Aussagen und Präferenz der Unsicherheitskommunikation

4.1 Visuelle Kommunikation durch Pfeile

Die Pfeile werden mehrheitlich als hilfreich und eindeutig wahrgenommen. Sie sind eine gute Unterstützung, schnell zu erfassen und markant im Blick, wobei ein Pfeil nach oben als positiv und quer als unentschieden interpretiert wurde. Grünen Pfeilen wurde mehr Glaubwürdigkeit geschenkt: „Ich würde tatsächlich den Pfeil bevorzugen, weil ich glaube, der Pfeil ist eindeutig." Kritische Stimmen merkten an, dass die Pfeile zu potenziellen Fehlerinterpretationen verleiten würden, wenn die tatsächlichen prozentualen Differenzen zwischen den Antworten gering sind. Zudem äußerten Teilnehmende, dass sie sich trotz der visuellen Hilfe nicht darauf verlassen und trotzdem die anderen Antworten scannen würden.

4.2 Numerische Kommunikation durch Prozentzahlen

Die Prozentzahlen wurden zwar seltener, aber ebenfalls als hilfreich bewertet. Sie wurden als genauer empfunden und als besser geeignet, um Unterschiede besser einschätzen zu können, insbesondere wenn die Antworten eng nebeneinander liegen und sie an der Stelle genauer differenzieren als Pfeile: „Wenn es dann eben technisch tiefer zu beantworten ist oder detailreicher ist, glaube ich, ist dann ne Zahl besser, um die Unterschiede besser einschätzen zu können." Als Kritik wurde primär genannt, dass Prozentzahlen zum Nachdenken zwingen und bei einfachen Aufgaben möglicherweise analytisch sind: „Bei Prozentzahlen muss man noch mal mehr denken, und ich glaube, so komplex war jetzt die Aufgabe auch nicht, dass dann Prozentzahlen vielleicht ein bisschen zu analytisch sind." Einige Befragte stellten außerdem die Frage, was eine Angabe wie „40" konkret aussagt, was auf mangelnde Eindeutigkeit hinweist.

4.3 Generelle Wahrnehmung und Akzeptanz

Die Befragung zeigte eine generelle Skepsis: Einige Teilnehmende würden sich eher auf die eigene Beurteilung verlassen als auf die KI. Obwohl ihnen die Unsicherheitskommunikation half, gaben einige an, die KI-Nutzung trotzdem zu vermeiden: „Ich persönlich würde mich da trotzdem nicht drauf verlassen."

5. Diskussion

Die qualitative Analyse der Nutzerwahrnehmung ergänzt die quantitative Forschung zur UK, indem sie den zentralen Trade-Off zwischen Präzision (numerisch) und Intuitivität (visuell) im Detail beleuchtet. Unsere Befunde bestätigen qualitativ die in der Literatur beschriebenen kognitiven Hürden numerischer UK-Formate (Bussone et al., 2015). Die Aussage, dass Prozentzahlen „zum Nachdenken zwingen" und „zu analytisch" seien, liefert einen direkten Beleg für die Herausforderung der Statistical Illiteracy (Gigerenzer et al., 2007) im Anwendungskontext. Obwohl numerische Scores als potenziell „genauer" empfunden werden, zeigt die Verwirrung der Befragten über die konkrete Bedeutung einer Zahl den Mangel an Prozessverständnis. Nutzern fällt es schwer, die Präzision in konkrete Handlungsanweisungen zu übersetzen (Feng & Boyd-Graber, 2019), was die Sinnhaftigkeit rein numerischer UK-Formate in Nicht-Experten-Domänen grundsätzlich in Frage stellt.

Die Präferenz für den visuellen Pfeil-Indikatoren basiert auf dem Wunsch nach kognitiver Entlastung und einer schnellen, heuristischen Entscheidungsfindung. Die Pfeile

werden als „eindeutig“ und „schnell zu erfassen“ wahrgenommen, was die Reduzierung der kognitiven Last im Vergleich zu numerischen Scores unterstreicht.

Diese Vereinfachung ist jedoch mit einem Informations- und Genauigkeitsverlust verbunden und birgt das Risiko des unkalibrierten Vertrauens (Cao et al., 2024). Die Kritik der Befragten, dass die Pfeile bei geringen prozentualen Differenzen zu Fehlinterpretationen verleiten könnten, untermauert das konzeptionelle Problem: Visuelle Indikatoren neigen dazu, eine kontinuierliche Wahrscheinlichkeit in ein vereinfachtes Signal umzuwandeln.

Die Ergebnisse betonen die Kontextabhängigkeit und individuelle Präferenz der UK-Wahrnehmung. Es gibt kein universelles „bestes UK-Format“. Pfeile sind überlegen für Schnelligkeit und geringen Aufwand, während man Prozentzahlen für analytische Überprüfung und Differenzierung bevorzugen sollte. Zukünftige KI-DSS sollten daher adaptiv sein und den Nutzern die Wahl zwischen verschiedenen Möglichkeiten ermöglichen. Darüber hinaus unterstreicht die Nachfrage der Befragten nach Bezugsquellen oder Einordnungshilfen die Notwendigkeit, UK stets in einen Kontext einzubetten, um übermäßiges Vertrauen zu verhindern.

6. Literatur

Braun, V., & Clarke, V. (2012). Thematic analysis. In APA handbook of research methods in psychology, Vol 2: Research designs: Quantitative, qualitative, neuropsychological, and biological (S. 57–71). American Psychological Association. https://doi.org/10.1037/13620-004

Buçinca, Z., Malaya, M. B., & Gajos, K. Z. (2021). To Trust or to Think: Cognitive Forcing Functions Can Reduce Overreliance on AI in AI-assisted Decision-making. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 5(CSCW1), 1–21. https://doi.org/10.1145/3449287

Bussone, A., Stumpf, S., & O’Sullivan, D. (2015). The Role of Explanations on Trust and Reliance in Clinical Decision Support Systems. 2015 International Conference on Healthcare Informatics, 160–169. https://doi.org/10.1109/ICHI.2015.26

Cao, S., Liu, A., & Huang, C.-M. (2024). Designing for Appropriate Reliance: The Roles of AI Uncertainty Presentation, Initial User Decision, and User Demographics in AI-Assisted Decision-Making. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 8(CSCW1), 1–32. https://doi.org/10.1145/3637318

Cau, F. M., Hauptmann, H., Spano, L. D., & Tintarev, N. (2023). Supporting High-Uncertainty Decisions through AI and Logic-Style Explanations. Proceedings of the 28th International Conference on Intelligent User Interfaces, 251–263. https://doi.org/10.1145/3581641.3584080

Feng, S., & Boyd-Graber, J. (2019). What can AI do for me: Evaluating Machine Learning Interpretations in Cooperative Play (No. arXiv:1810.09648). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.09648

Gigerenzer, G., Gaissmaier, W., Kurz-Milcke, E., Schwartz, L. M., & Woloshin, S. (2007). Helping Doctors and Patients Make Sense of Health Statistics. Psychological Science in the Public Interest: A Journal of the American Psychological Society, 8(2), 53–96. https://doi.org/10.1111/j.1539-6053.2008.00033.x

Kompa, B., Snoek, J., & Beam, A. L. (2021). Second opinion needed: Communicating uncertainty in medical machine learning. Npj Digital Medicine, 4(1), 4. https://doi.org/10.1038/s41746-020-00367-3

Lee, M. H., & Tok, M. Z. Y. (2025). Towards Uncertainty Aware Task Delegation and Human-AI Collaborative Decision-Making. Proceedings of the 2025 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency, 2274–2289. https://doi.org/10.1145/3715275.3732155

Mersha, M., Lam, K., Wood, J., AlShami, A. K., & Kalita, J. (2024). Explainable artificial intelligence: A survey of needs, techniques, applications, and future direction. Neurocomputing, 599, 128111. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2024.128111

Reyes, J., Batmaz, A. U., & Kersten-Oertel, M. (2025). Trusting AI: Does uncertainty visualization affect decision-making? Frontiers in Computer Science, 7. https://doi.org/10.3389/fcomp.2025.1464348

Förderhinweis: Das Begleitvorhaben WIN:A (FKZ: 02L19C020 ff.) wird im Rahmen der Fördermaßnahme „Regionale Kompetenzzentren der Arbeitsforschung“ vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für diesen Beitrag liegt bei den Autorinnen.

Dos and Don'ts des EU AI Acts – Rechtliche Rahmenbedingungen für den verantwortungsvollen Einsatz von künstlicher Intelligenz im Arbeitsprozess

Gustav BÖSEHANS, Eva HANAU, Stella CZAK

Kompetenzzentrum WIRKsam
WIRKsam Reallabor
An der Hasenkaule 10, D-50354 Hürth

Kurzfassung: Mit dem EU AI Act (dt. KI-VO) haben die Mitgliedsstaaten der EU die weltweit erste, umfassende und bindende Verordnung zum Umgang mit künstlicher Intelligenz ins Leben gerufen, die sowohl über bestehende Richtlinien wie die DSGVO, als auch nationale und sektorspezifische Gesetze hinausgeht. Aufgrund der raschen Verbreitung, insbesondere von generativer KI, soll die KI-VO vor allem die Grundrechte der Nutzer von KI-Systemen vor etwaigen negativen Einflüssen schützen. Für Anbieter und Betreiber von KI-Systemen ergeben sich mit der KI-VO neue Verpflichtungen und Herausforderungen, um einen verantwortungsvollen Umgang mit KI zu gewährleisten. Der folgende Beitrag widmet sich diesen Pflichten und illustriert sie mit Beispielen aus der Praxis.

Schlüsselwörter: Europäische Union, künstliche Intelligenz, Hochrisiko-KI, KI-Verordnung, rechtliche Rahmenbedingungen, Risikoklassifizierung

1. Einleitung

Spätestens seit der Veröffentlichung von ChatGPT hat künstliche Intelligenz (KI) den Sprung ins Rampenlicht geschafft und somit den Weg für weitreichende Veränderungen in der Arbeitswelt und im Privatleben geebnet. Das Einsatzpotenzial von KI ist vielseitig und reicht von alltäglichen Aufgaben wie Textbearbeitung oder Bilderstellung bis hin zu komplexen und verantwortungsvollen Aufgaben wie Auftragsplanung oder Qualitätskontrolle. Zu unterscheiden ist hierbei zwischen generativer KI (GenAI) und weiteren KI-Anwendungen, die auf Machine Learning (ML) basieren, wie Prädiktive oder Diskriminative KI. Der Hauptfokus des rasanten KI-Wachstums liegt jedoch in erster Linie auf der generativen KI, welche dank ihrer niedrigschwelligen Zugangsmöglichkeiten schnell Einzug in den Arbeitsalltag gefunden hat. Dabei setzen Unternehmen auch in Deutschland verstärkt auf KI, um Arbeitsprozesse zu erleichtern, zu beschleunigen oder zu automatisieren: So nutzt 2025 bereits etwa jedes dritte Unternehmen KI, doppelt so viel wie im Vorjahr (bitkom e.V. 2025). Dabei halten 81 Prozent KI für die wichtigste Zukunftstechnologie und 29 Prozent möchten ihre KI-Investitionen erhöhen (ebd.).

Angesichts dieser raschen Entwicklung ist es umso wichtiger, rechtliche Rahmenbedingungen für den verantwortungsvollen Einsatz von KI rechtzeitig zu berücksichtigen. Spätestens mit dem gestaffelten Inkrafttreten des EU AI Acts bzw. der KI-Verordnung (KI-VO) der Europäischen Union (EU) seit August 2024 müssen sich in der EU operierende Unternehmen an spezifische Regelungen zum KI-Einsatz halten. Hierbei werden sowohl Anbieter als auch Betreiber von KI-Systemen oder -

Modellen in die Verantwortung genommen, um einen sicheren und verantwortungsvollen Einsatz von KI am Arbeitsplatz zu gewährleisten.

Der folgende Beitrag beschreibt, welche Anforderungen sich aus dem EU AI Act für die Gestaltung von KI-gestützten Assistenzsystemen für eine menschengerechte Arbeitsgestaltung ergeben. Diese Anforderungen an Anbieter und Betreiber von KI-Systemen werden anhand konkreter Anwendungsfälle aus dem Kompetenzzentrum WIRKsam erläutert, welches die Gestaltung KI-unterstützter Arbeit in der rheinischen Textil- und Braunkohleregion erforscht.

2. Einführung und Zweck des EU AI Acts

Der primäre Zweck der KI-VO ist, die Einführung einer auf den Menschen ausgerichteten und vertrauenswürdigen KI zu fördern. Gleichzeitig sollen ein hohes Schutzniveau in Bezug auf Gesundheit, Sicherheit und die in der Charta verankerten Grundrechte - einschließlich Demokratie, Rechtsstaatlichkeit und Umweltschutz - vor schädlichen Auswirkungen von KI-Systemen in der Union gewährleistet werden und Innovationen unterstützt werden. Die in der Verordnung festgelegten Richtlinien ergänzen bestehende Regularien - wie beispielsweise die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) - um unterschiedlichen Pflichten, die sich entsprechend der Rolle des Anwenders (Anbieter oder Betreiber) sowie der Risikoklassifizierung des KI-Systems ergeben.

Die KI-VO definiert ein KI-System als ein maschinengestütztes System, das aus erhaltenen Eingaben Ausgaben - wie etwa Vorhersagen, Inhalte, Empfehlungen oder Entscheidungen - erstellt, die physische oder virtuelle Umgebungen beeinflussen können. Die Besonderheit bei KI-Systemen ist dabei, dass sie autonom agieren und nach ihrer Betriebsaufnahme anpassungsfähig sein können, indem sie auch ohne menschliche Intervention auf Basis der Daten „lernen“.

Als Anbieter von KI-Systemen gelten Akteure, die KI-Systeme herstellen oder herstellen lassen und sie unter eigenem Namen - gegen Entgelt oder unentgeltlich - in den Verkehr bringen. Betreiber hingegen umfassen Akteure, die fremdentwickelte KI-Anwendungen in eigener Verantwortung, beispielsweise im Betrieb, nutzen (Art. 3). Wird ein fremdentwickeltes Hochrisiko-KI-System von einem Betreiber mit eigenem Namen oder Marke versehen oder werden Veränderungen durchgeführt, die die Zweckbestimmung des KI-Systems nachhaltig beeinflussen und zu einem Hochrisiko-KI-System machen, so kann u.U. ein ungewollter Rollenwechsel von Betreiber zu Anbieter stattfinden (Art. 25 Abs. 1).

2.1 Risikoklassifizierung des KI-Systems

Eine grundlegende Voraussetzung für die Anwendung von und den Umgang mit KI-Systemen ist deren Risikoklassifizierung, welche die KI-VO anwendungsfallbasiert vornimmt. Zu unterscheiden ist dabei zwischen Gefahr (potenzielle Gefahr, d.h. schädliche Wirkung durch den Einsatz von KI in bestimmten Anwendungsbereichen ist möglich) und Risiko (Produkt aus Gefährdungspotenzial und Wahrscheinlichkeit). Gefahren werden gesetzlich reguliert, wenn sie ein erhebliches Schadenspotenzial für Menschen, Umwelt oder Sachwerte darstellen: Im Fall KI besteht ein öffentliches Interesse daran, die in der Verfassung verankerten Grundrechte und demokratische Prozesse zu schützen. So stellt beispielsweise der Einsatz von KI im Falle einer biometrischen Massenüberwachung, Social Scoring-Praktiken, oder auch der Einsatz

von KI zur Überwachung oder Bewertung von Beschäftigten, eine Gefährdung der Grundrechte dar und ist somit verboten (Art. 1 Abs. 2b). Eine potenzielle Gefährdung ergibt sich auch, wenn mittels KI Entscheidungen automatisiert werden und intransparent erfolgen (Black Box-Charakter von ML-Verfahren) und steht im Konflikt mit Rechtsprinzipien wie Verantwortlichkeit, Erklärbarkeit und Haftung. KI-Systeme, die beispielsweise für die Risikobewertung und Preisbildung in Bezug auf natürliche Personen im Fall von Lebens- und Krankenversicherungen angewendet werden sollen, werden deshalb als Hochrisiko-KI-Systeme eingestuft (siehe Anhang III für weitere Fälle).

Die KI-VO reguliert systemisch und gesellschaftlich relevante Risiken von KI, indem sie Schutzmechanismen gegen einschlägige Gefahren schafft und „Leitplanken" für das Risikomanagement von KI formuliert. Entsprechend werden auch Vorgaben zum betrieblichen Risikomanagement v.a. beim Einsatz von Hochrisiko-KI-Systemen getroffen und Standards formuliert (Art. 26), die es einzuhalten gilt (Compliance). Allgemein gilt es, KI-Kompetenz entlang der gesamten „KI-Wertschöpfungskette" sicherzustellen, angefangen bei an der KI-Entwicklung beteiligten Personen bis hin zu Nutzerinnen und Nutzern von KI-Anwendungen (Art. 4). Der Umgang mit konkreten, individuellen bzw. organisatorischen Risiken liegen jedoch primär in der Verantwortung der Betreiber bzw. der Nutzenden von KI-Systemen und obliegen somit dem betrieblichen Risikomanagement.

Auch Chatbots oder KI-generierte Inhalte (inklusive Deep Fakes) bergen Risiken in der Form von Nachahmung, Manipulation oder Täuschung und beinhalten damit potenziell eine Gefährdung beispielsweise von Persönlichkeits-, Datenschutz-, und Urheberrechten. Daher unterliegen sie als sog. KI-Systeme mit begrenztem Risiko besonderen Offenlegungs- und Transparenzanforderungen. Dazu gehört vor allem die Kennzeichnungspflicht, wodurch KI-generierte Inhalte (Text, Bild, Audio, Video) mit einem maschinenlesbaren Format gekennzeichnet und als künstlich erzeugt oder manipuliert erkennbar gemacht werden sollen (Art. 50 Abs. 2). Einfache KI-Systeme wie Spamfilter oder Empfehlungssysteme im Konsumbereich stellen aus Sicht des Gesetzgebers ein minimales Risiko dar und sind nicht von Auflagen betroffen.

2.2 Pflichten für Anbieter und Betreiber von Hochrisiko-KI-Systemen

Art. 6 der KI-VO definiert Einstufungsvorschriften für Hochrisiko-KI-Systeme. Solche, nachweislich potenzielle Auswirkungen auf Gesundheit, Sicherheit und Grundrechte von Personen beinhaltende Systeme, unterliegen weitreichenden Pflichten für Anbieter und Betreiber. Die Pflichten für Anbieter und Betreiber von Hochrisiko-KI-Systemen unterscheiden sich, wobei Anbieter mit weitaus umfassenderen Pflichten zu rechnen haben.

Anbieter sind, unabhängig von der Risikoklassifizierung des KI-Systems dazu verpflichtet dem Betreiber eine Gebrauchsanweisung zu liefern mit Informationen zu Zweck, Leistungsgrenzen und Überwachungsmechanismen des Systems (Art. 13).

Im betrieblichen Kontext gilt es für Betreiber von Hochrisiko-KI-Systemen (Art. 26), sicherzustellen, dass a) betroffene Arbeitnehmer sowie die Arbeitnehmervertretung vor Inbetriebnahme des KI-Systems informiert werden, dass sie der Verwendung des Hochrisiko-KI-Systems unterliegen werden, und dass b) die Nutzung des Systems zweckgebunden und im Rahmen der erlaubten Verwendung erfolgt.

Die wichtigsten Regulierungen für Anbieter und Betreiber sind in Tabelle 1 zusammengefasst und im folgenden Text genauer beschrieben.

Tabelle 1: *Pflichten für Anbieter und Betreiber von Hochrisiko-KI-Systemen.*

Pflichten für Betreiber (Artikel 26)	Pflichten für Anbieter (Artikel 9-21)
☺ Aufsicht durch natürliche Person mit erforderlichen Kompetenzen und Befugnissen ☺ Eingabe von repräsentativen Daten entsprechend Zweckbestimmung ☺ Überwachung des Systems entsprechend Betriebsanleitung ☺ Aufbewahrung automatisch erzeugter Protokolle (Log-Files) über 6 Monate ☺ Information der Arbeitnehmervertretung und der betroffenen Arbeitnehmer vor Einsatz ☺ Prüfung der Notwendigkeit einer Datenschutz-Folgeabschätzung (DFA) gem. Art. 13 AI Act	☺ Einrichtung und Pflege eines Risikomanagementsystems (Art. 9) ☺ Daten und Daten-Governance – Trainings-, Validierungs- und Testdaten-sätze müssen bestimmte Qualitäts-kriterien erfüllen (Art. 10) ☺ Technische Dokumentation des KI-Systems (Art. 11) ☺ Automatische Aufzeichnung von Ereignissen während des Lebenszyklus des Systems (Art. 12) ☺ Transparenz und Gebrauchsanweisung für die Betreiber (Art. 13) ☺ Menschliche Aufsicht (Art. 14) ☺ Angemessenes Maß an Genauigkeit, Robustheit und Sicherheit (Art. 15) ☺ Qualitätsmanagementsystem (Art. 17)

Betreiber müssen darauf achten, dass die Nutzung des KI-Systems unter Aufsicht menschlicher, natürlicher Personen erfolgt, die den Einsatz kompetent überwachen und notfalls eingreifen können. Auch wenn die KI-VO keine konkrete Schulungspflicht benennt, liegt es also in der Verantwortung der Anwenderunternehmen, die benötigte KI-Kompetenz bei allen Personen aufzubauen, die mit der Einrichtung, dem Betrieb oder der Nutzung eines KI-Systems zu tun haben. Für Betreiber eines Hochrisiko-KI-Systems ist es darüber hinaus verpflichtend, eine Grundrechte-Folgenabschätzung durchzuführen, sofern öffentliche Dienste geleistet oder bestimmte KI-Anwendungen, beispielsweise für die Vergabe von Krediten oder Versicherungen, genutzt werden (Art. 27). Betreiber sollten zudem technische und organisatorische Maßnahmen ergreifen und die KI gemäß der vom Anbieter bereitgestellten Anleitung betreiben.

Für Anbieter von Hochrisiko-KI-Systemen gelten strengere Regeln (Art. 16). Anbieter müssen gewährleisten, dass die in Abschnitt 2 genannten Anforderungen an Hochrisiko-KI-Systeme (Artikel 9-15) erfüllt werden. Beispielsweise muss ein Risikomanagementsystem eingeführt werden, um potenzielle Risiken bei der Nutzung des KI-Systems zu identifizieren und etwaigen Folgen frühzeitig vorbeugen zu können (Art. 9). Zudem müssen Hochrisiko-KI-Systeme technisch dokumentiert (Art. 11) und über den gesamten Lebenszyklus hinweg beobachtet werden (Art. 12). Ebenfalls müssen Hochrisiko-KI-Systeme so konzipiert sein, dass sie jederzeit Raum für menschliche Aufsicht (human-in-the-loop) zulassen (Art. 14). Anbieter sind ebenfalls dafür verantwortlich ein Qualitätsmanagementsystem aufzubauen, das die Einhaltung der KI-VO gewährleistet (Artikel 17). Neben der Kennzeichnungspflicht für KI-generierte Inhalte müssen Anbieter informieren, dass es sich um KI handelt, sofern sie sich direkt an Menschen richtet (Transparenzpflicht).

3. Anwendungsbeispiele

Im Forschungsprojekt WIRKsam arbeiten die Projektpartner an der Entwicklung und menschengerechten Einführung von KI-Anwendungen, die auf das Erreichen von Verbesserungen in den Bereichen Wissen, Prozesse und Qualität innerhalb der Anwendungsunternehmen abzielen. Nachfolgend werden drei Anwendungsfälle i.B. auf die dargestellten Implikationen der KI-VO kurz charakterisiert und nach

Risikoklassen eingestuft. Bei dieser Einstufung handelt es sich jedoch lediglich um eine Einschätzung der Autoren statt einer geprüften juristischen Auslegung der KI-VO.

3.1 Textilfertigung

Ein rheinisches Unternehmen in der Textilbranche möchte KI in der Produktion anwenden. Bislang werden in der Kaschiererei Maschinenparameter von den Mitarbeitern manuell eingestellt und überwacht. Es liegen jedoch keine Daten dazu vor, wie Maschinenparameter die Qualität – gemessen beispielsweise an der Trennkraft - des Endprodukts (z. B., Sitzbezüge für Autos) beeinflussen. Es soll ein KI-System qualifiziert werden, das auf realen Trainingsdaten basierende Vorschläge zur Parametrierung neuer Aufträge erstellen kann. Diese sollen dann vom Mitarbeiter geprüft und ggf. übernommen werden.

Risikoklassifizierung: Begrenztes Risiko – Da das KI-System kein Sicherheitsbauteil nach Art. 3 Satz 14 KI-VO (vgl. Kap. 2.1) ist und Maschinenparameterempfehlungen menschlicher Aufsicht unterzogen werden, stellt das KI-System nur ein begrenztes Risiko dar. Wichtig ist, dass Empfehlungen als KI-generiert gekennzeichnet werden und Mitarbeiter über die nötigen Kompetenzen zur Interaktion mit und Kontrolle des KI-Systems verfügen. In diesem Fall sind dies insbesondere das Grundverständnis über die Funktionsweise des Systems, die digitale Bedienkompetenz zum Umgang mit dem HMI sowie allgemein kritisches Denkvermögen, analytische Fähigkeiten und ein grundlegendes Datenverständnis, um die Vorschläge abgleichen und bewerten zu können (vgl. Hanau et al. 2025: 29).

3.2 Autonomer Schleifroboter

Ein Unternehmen stellt Carbon-Heckflügel für Sportwagen her. Jeder Heckflügel wird manuell angefertigt und geschliffen, jedoch verursacht das Abschleifen der Heckflügel Partikelemissionen, die gesundheitsschädlich sind, und das Schleifen selbst stellt eine physische Belastung dar (z. B., Verkrampfung des Unterarms). Spezielle Masken mit Luftabsaugsystem reduzieren zwar die Gefährdung durch Partikelemissionen, eliminieren sie aber nicht ganz und mindern auch nicht die physische Belastung des Schleifens. Ein KI-gesteuerter Schleifroboter soll deshalb einen Vorschliff vornehmen, indem er einerseits mit Hilfe von Kameras etwaige Produktfehler identifiziert und kennzeichnet und darüber hinaus eigenständig eine Pfadanalyse zur Ausführung eines autonomen Vorschliffs berechnet.

Risikoklassifizierung: Begrenztes Risiko – Auch wenn der Schleifroboter den Vorschliff eigenständig ausführen kann, so unterliegt der Prozess dennoch menschlicher Aufsicht. Der Mitarbeiter kontrolliert sowohl die Fehlerkennzeichnungen des KI-Systems als auch den Schleifprozess des Roboterarms. Da der Schleifarm jedoch kommerziell vermarktet wird und eine CE-Kennzeichnungspflicht hat, kommt schon vor der KI-VO die Maschinenrichtlinie zum Tragen, auf die in Anhang I, Punkt 1 verwiesen wird. Diese formuliert u.a. Auflagen im Bereich Arbeitssicherheit beim Einsatz von Robotern im Betrieb, welche es zu befolgen gilt. Somit können Arbeitsunfälle und Gesundheitsschäden durch Partikelemissionen reduziert werden.

3.3 KI-gestützte Auftragsplanung

Ein mittelständisches Maschinenbau-Unternehmen möchte seine Produktionsplanung mit Hilfe von KI effizienter gestalten. Um dies zu erreichen, werden Daten aus verschiedenen Quellen benötigt, wie beispielsweise Daten zu Lagerbeständen von Bauteilen, Baugruppen, Skill-Matrizen der Mitarbeiter und Mitarbeiterverfügbarkeit. Ein entsprechend trainiertes KI-Modell soll sowohl Parameter wie Maschinen- und Mitarbeiterkapazitäten als auch Bauteilverfügbarkeit berücksichtigen, Aufträge entsprechend priorisieren sowie Empfehlungen für die Produktionsplanung liefern. Somit sollen Kapazitäten bestmöglich genutzt werden und der Planungsaufwand der Produktionsleiter reduziert werden.

Risikoklassifizierung: Begrenztes Risiko – Die KI-gestützte Auftragsplanung basierend auf Lagerbeständen hat keine Auswirkungen auf die Gesundheit, Sicherheit oder Grundrechte der Mitarbeiter. KI-basierte Empfehlungen sollten vor Freigabe von mindestens einem der Produktionsleiter eingesehen und nach Bedarf angepasst werden. Skill-Matrizen für die Zuordnung von Mitarbeitern zu geeigneten Aufgaben basierend auf ihren Fähigkeiten sollten weitestgehend anonymisiert werden. Essenziell ist eine Einschätzung darüber, ob durch das KI-System eine Überwachung oder Leistungsbewertung der Mitarbeiter möglich ist – dies hätte u.a. eine Klassifizierung als Hoch-Risiko-System zur Folge und wäre nach § 87 Abs. 1 Nr. 6 BetrVG mitbestimmungspflichtig.

4. Diskussion

Die KI-VO ist ein erster wichtiger Schritt um die Rechte derer, die KI nutzen oder von der Nutzung durch andere direkt betroffen sind, zu schützen. Die umfassenden Pflichten für Anbieter und Betreiber von Hochrisiko-KI-Systemen schaffen eine rechtliche Grundlage für den verantwortungsvollen Umgang mit KI. Um europäische Innovation und Wettbewerbsfähigkeit jedoch nicht zu sehr einzuschränken und Unklarheiten für Anbieter und Betreiber zu beseitigen, werden Reformen der KI-VO zwingend notwendig sein, welche von der Europäischen Kommission im November 2025 mit dem Legislativpaket „Digital Omnibus“ initiiert wurden.

5. Literatur

Bitkom e.V. (2025) Durchbruch bei Künstlicher Intelligenz – Presseinformation zur Pressekonferenz 15.9.2025, online unter https://www.bitkom.org/Presse/ Presseinformation/Durchbruch-Kuenstliche-Intelligenz, zuletzt aufgerufen am 10.01.2026.

Hanau, E., Hansen-Ampah, A.; Link, J.: Humanzentrierte KI in der Produktion: Wie KI-Assistenz die Facharbeit verändert. In: BWP 54 (2025) 4, S. 26-29. URL: https://www.bwp-zeitschrift.de/dienst/publikationen/de/20717

Danksagung: Der Beitrag ist im Projekt „Kompetenzzentrum WIRKsam“ (FKZ: 02L19C600) entstanden; es wird im Rahmen der Fördermaßnahme „Regionale Kompetenzzentren der Arbeitsforschung“ vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für diesen Beitrag liegt bei den Autoren.

Anwendung generativer KI zur systematischen Entwicklung von dynamischen Rotationsplänen in Produktion und Logistik

Dirk MARRENBACH, Oliver SCHOLTZ, Stefanie FINDEISEN

Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation
Nobelstr. 12, D-70569 Stuttgart

Kurzfassung: Job Rotation stellt einen bewährten Ansatz zur Reduktion von Beanspruchungen dar. Sie ist mit hohen Aufwänden bei ihrer Nutzung verbunden. Im bmftr Projekt proRotation ist eine Methodik zur dynamischen beanspruchungsorientierten Job Rotation unter Nutzung von KI und Wearables entwickelt worden. In diesem Beitrag wird die Evolution von einer manuellen Planung zu einem KI basierten Erstellung von Rotationsplänen vorgestellt und dort auftretende Probleme präsentiert.

Schlüsselwörter: Arbeitsorganisation, Job Rotation, künstliche Intelligenz

1. Ausgangssituation und Problemstellung

Manuelle Arbeitsplätze in Produktion und Logistik sind aufgrund der termingerecht zu bewegenden Mengen und Massen für die dort tätigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowohl physisch als auch psychisch belastend. Daraus resultieren hohe Fehlzeiten und hohe Fluktuationsraten. Niedrige Löhne und geringe Aufstiegsmöglichkeiten tragen nicht gerade zur Steigerung der Attraktivität bei. (Marrenbach u. a., 2019; Marrenbach, Braun und Scholtz, 2022). Die Attraktivität der Arbeitsplätze auf dem Shop Floor kann in dieser verzwickten Situation nicht allein durch ergonomische Verbesserungen gesteigert werden.

Generell stellt die Job-Rotation in Produktion und Logistik einen bewährten Organisationsansatz dar, der sich aber aufgrund des mit der Job-Rotation verbundenen Qualifikations- und Planungsaufwands nicht wirklich durchsetzen konnte. Es existiert derzeit kein wissenschaftlich fundierter Planungs- und Gestaltungsansatz, der die individuellen Beanspruchungen systematisch erfasst und bei der dynamischen Planung von Rotationsplänen berücksichtigt. Aus der skizzierten Ausgangssituation leiten sich folgende Fragestellungen für diesen Beitrag ab:

Wie kann mit generativer KI die Entwicklung und Anwendung von Assistenzsystemen zur Rotationsplanung unterstützt werden?

Können mit Hilfe von generativer KI direkt Rotationspläne entwickelt werden?

2. Anwendungsentwicklung für Job Rotation

Die Job-Rotation ist ein etabliertes Instrument der Arbeitsstrukturierung zur Reduzierung einseitiger Belastungen und zur Förderung von Flexibilität. Bei diesem Organisationsansatz wechseln Mitarbeitende in einem geplanten Rhythmus systematisch ihre Arbeitsplätze und -aufgaben. Das primäre Ziel der Job-Rotation besteht in der Reduktion von monotoner, physischer als auch psychischer Belastung durch die Verteilung von auftretenden Beanspruchungen auf unterschiedliche Muskelgruppen oder kognitive Funktionen.(Marrenbach und Geiger, 2019)

Die bisher entwickelten und erprobten Verfahren der Job-Rotation arbeiten im Sinne Taylors „One Solution fits it all“ und berücksichtigen weder die Anforderungen moderner Produktions- und Logistiksysteme in Hinblick auf Anpassungsfähigkeit, Akzeptanz und Flexibilität noch die individuellen Bedürfnisse einer alternden Belegschaft. Die hohen Aufwände bei der systematischen Erfassung von Belastungen und die arbeitsintensive Erstellung von Rotationsplänen sind insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen ein Hemmnis, Job-Rotation zu nutzen. An dieser Stelle setzt proRotation an und verwendet moderne Informations- und Kommunikationssysteme in Verbindung mit künstlicher Intelligenz und einfach zu bedienenden Wearables, um die skizzierten Schwachstellen traditioneller Ansätze der Job-Rotation zu überwinden. Im BMBF-Forschungsvorhaben proRotation ist eine partizipative Methodik zur beanspruchungsgerechten Job-Rotation unter systematischer Nutzung von KI und Wearables entwickelt und bei den Anwendungspartnern erfolgreich erprobt worden.

Grundlage für die Entwicklung einer Methodik zur beanspruchungsgerechten Job-Rotation bildet in ProRotation die systematische Erfassung von Beanspruchungen am Arbeitsplatz sowie deren Validierung durch Wearables.

In der Arbeitswissenschaft sind Fragebögen das klassische Instrument zur Erfassung der wahrgenommenen Belastung und der subjektiven Beanspruchung. Sie erfassen die psychologische Perspektive der Mitarbeitenden, indem sie beispielsweise die empfundene Arbeitsmenge, den Zeitdruck, das soziale Klima (Belastungen) oder das psychische und physische Befinden wie emotionale Erschöpfung und Arbeitszufriedenheit (Beanspruchung) abfragen.

In proRotation kommt ein weiterentwickelter anwendungsorientierter Fragebogen zur systematischen Ermittlung von physischen und psychischen Beanspruchungen sowie von Umgebungsfaktoren zum Einsatz(Marrenbach u. a., 2019). Der Vorteil von Fragebögen liegt in der kostengünstigen und einfachen Anwendung für große Gruppen. Nachteile können subjektive Verzerrungen oder Erinnerungsfehler sein.

An dieser Stelle setzen Wearables an: Wearables wie Smartwatches oder Fitness-Tracker erfassen physiologische Daten, die als Indikatoren für die objektive Beanspruchung dienen. Sie messen die unmittelbare körperliche Reaktion auf Belastungen, wie bspw. Herzratenvariablität, Puls oder Hautfeuchtigkeit.

In proRotation wird erstmals eine Verknüpfung der beiden Datenquellen zur Beanspruchungsermittlung vorgenommen und auf diese Weise ein ganzheitliches, durch Objektivierung geglättetes Bild der subjektiven Beanspruchungen geliefert. Die Verknüpfung durch Fragebögen erfasster Beanspruchungen mit den durch Wearables gemessenen Daten erfolgt in einer App durch verschiedene Methoden:

- Zeitliche Synchronisation: Datenpunkte aus Wearables werden über Zeitstempel mit konkreten Ereignissen (z. B. einem Meeting im Kalender) und direkt darauffolgenden Kurzbefragungen verknüpft. So lässt sich prüfen, ob eine als stressig bewertete Aufgabe auch eine messbare physiologische Stressreaktion auslöst.
- Mustererkennung durch maschinelles Lernen: Algorithmen können physiologische „Signaturen“ in den Wearable-Daten identifizieren, die konsistent mit subjektiven Zuständen wie hoher Konzentration, Stress oder Frustration korrelieren.

Durch diese Verknüpfung lassen sich auch Diskrepanzen aufdecken, etwa bei Beschäftigten, die subjektiv wenig Stress angeben, aber konstant hohe physiologische Stresswerte zeigen. Solche Risikoprofile können frühzeitig erkannt und durch gezielte Interventionen unterstützt werden, bevor gesundheitliche Beeinträchtigungen entstehen.

Auf diese Weise entsteht eine solide Datenbasis zur Planung der Job-Rotation, die sowohl auf subjektiven als auch auf objektiven Beanspruchungsdaten beruht. Auf

diese Weise entsteht die für die Rotationsplanung benötigte Datenbasis. Sie ist mit Hilfe der Work System Theorie formalisiert und in Zusammenarbeit mit allen Stakeholdern einheitlich und verständlich beschrieben worden(Alter, 2013).

Die Entwicklung von Rotationsplänen erfolgte in proRotation auf drei verschiedene Arten:

- **Manuelle Rotationsplanung**

Die Grundlagen der systematischen Rotationsplanung wurden zunächst klassisch manuell erarbeitet, um aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen eine generelle Vorgehensweise zur Rotationsplanung festzulegen. Die Entwicklung von Rotationsplänen erfolgt schrittweise von einem generellen Plan zu einem individualisierten Plan. Auf Grundlage der Arbeitsplatz- und Mitarbeiterprofile wird im ersten Schritt eine Zuordnung in Hinblick auf Belastungs- und Beanspruchungswechsel vorgenommen. Zielsetzung des ersten Schrittes ist, für jeden Mitarbeiter eine Reihenfolge festzulegen, die zu einer Reduktion der Belastungen bzw. Beanspruchungen führt. Aus diesem Pool von möglichen Reihenfolgen wird ein Gesamtplan kombiniert, der die Bedürfnisse der Mitarbeiter mit den Kapazitätsanforderungen des aktuellen Arbeitsprogramms kombiniert. In weiteren Schritten werden individuelle Bedürfnisse schrittweise eingepflegt. Auf diese Weise entsteht ein individualisierter Rotationsplan. Es wurde schnell ersichtlich, dass die manuelle Entwicklung von Rotationsplänen bei steigender Anzahl von Mitarbeitern, Arbeitsplätzen und Randbedingungen an zeitliche und kognitive Grenzen stößt.

- **Automatisierte Rotationsplanung**

Auf Grundlage des manuell entwickelten Konzepts erfolgte eine Übertragung auf ein Assistenzsystem zur systematischen Erstellung der Rotationspläne. Dieses Assistenzsystem setzt sich aus verschiedenen miteinander interagierenden Komponenten

- zur User Verwaltung,
- zur Erfassung von Beanspruchungen via Fragebogen,
- zur Erfassung der gemessenen Beanspruchungen,
- zur Kopplung der beiden Beanspruchungsquellen,
- zur einheitlichen Erstellung von Arbeitsplatz-, Beanspruchungs- und Mitarbeiterprofilen sowie
- zur Generierung und Visualisierung von Rotationsplänen

zusammen.

Die Entwicklung der Rotationspläne erfolgt nach dem manuell entwickelten Konzept und nutzt Algorithmen, um die systematische Generierung von Arbeitsplatzwechseln oder die Aussortierung von verbotenen Arbeitsplatzwechseln zu beschleunigen.

- **Rotationsplanung mit generativer KI**

Die Fähigkeiten generativer KI – wie bspw. ChatGPT, Gemini oder Claude, zur Bearbeitung komplexer Aufgaben haben sich in den vergangenen Jahren unerwartet schnell und stark entwickelt. Generative KI ist in der Lage, zielgerichtet aus Texten und Tabellen Informationen zu extrahieren und entsprechend einer definierten Aufgabenstellung eine Lösung zu generieren. Die Lösungen können dabei wieder Texte und Tabellen sein oder auch Grafiken, Musik oder Videos.(Raieli und Iuculano, 2025).

Das skizzierte Konzept zur Rotationsplanung wurde für eine Ausführung durch generative KI adaptiert: Dabei wurde versucht, die manuelle Vorgehensweise durch zwei mehr oder weniger ausführlich formulierte Prompts nachzubilden. Im ersten Schritt wurden alle möglichen Wechsel eines Mitarbeiters generiert und zu zahlreichen Rotationsplänen zusammengeführt. In einem zweiten Schritt wurden Die entwickelten Rotationspläne entsprechend der individuellen Rand- und Umgebungsbedin-

gungen der Mitarbeiter gefiltert. Es blieben dann die Rotationspläne übrig, die überwiegend gute Wechsel enthielten und die Randbedingungen der Mitarbeiter erfüllten. Die generative KI war in der Lage die Aufgabe mit zahlreichen Randbedingungen nur dann zu erfüllen, wenn sie für die Lösung ein entsprechendes Programm, bspw. Für MatLab, erzeugt hat.

3. Diskussion

Generell können generative KI, wie bspw. Claude, Gemini oder ChatGPT, in allen Phasen der Entwicklung des Assistenzsystems eingesetzt werden.

Generative KI unterstützt den Entwickler bspw. bei der Gestaltung von Formularen zur Erfassung von Beanspruchungen, Belastungen und Umweltbedingungen. Sie erlaubt vor allem die gewählten Formulierungen für die Mitarbeiter auf dem Shop Floor eingängig und verständlich in verschiedenen Sprachen zu formulieren. Sie sorgt bei der Transformation in Programmcode für ein einheitliches Aussehen auf dem gewählten mobilen Endgerät und übernimmt die Erstellung von Code und Trainingsmaterial. Abschließend werden Dokumentationen und Tutorials ebenfalls mittels generativer KI kundenorientiert erzeugt. Zur Implementierung des Assistenzsystems von proRotation wurde generative KI ausschließlich als Werkzeug zur Entwicklung von Software verwendet. Die direkte Nutzung generativer KI war zum Zeitpunkt der Softwareentwicklung und -erprobung noch nicht so fortgeschritten.

die direkte Erstellung von Rotationsplänen mit generativer KI wurde erst am Ende des Projekts möglich! Die direkte Nutzung von KI zur Erstellung von Rotationsplänen stößt schnell an sprachliche und kapazitative Grenzen. Die sprachliche Grenze besteht in der präzisen Formulierung der zu lösende Aufgabenstellung und der dabei zu berücksichtigenden Randbedingungen. Die verwendete generative KI war aufgrund von Anfrage- und Content Einstellungen nur in der Lage, einfache Rotationspläne mit wenigen Mitarbeitern und Randbedingungen zu bearbeiten. Die generative KI wechselt bei steigender Komplexität der Aufgabenstellung die Lösungsstrategie, Es wird ein Programm zur Lösung des Definierten Problems entwickelt. Auf Diese Weise konnten entsprechend dem skizzierten Konzept zahlreiche Rotationspläne generiert werden, die entsprechend sortiert und gefiltert werden. Der Programmcode muss dann in Python oder MatLab ausgeführt werden.

Generell kann die generative KI zur Entwicklung von Rotationsplänen genutzt werden! Die direkte Nutzung der generativen KI zur Erstellung von Rotationsplänen ist mit einem nicht zu vernachlässigenden Aufwand für die Entwicklung, Optimierung und Speicherung geeigneter Prompts verbunden. Es empfiehlt sich eine systematische Annäherung von Einfachen Aufgabenstellungen in Richtung komplexer Aufgabenstellungen. Auf diese Weise können die präsentierten Ergebnisse im Sinne des Human in the Loop Ansatzes noch manuell überprüft werden Bei steigender Komplexität der Aufgabenstellung wird eine Kontrolle der Ergebnisse immer aufwendiger. Am einfachsten ist die Überprüfung der ‚guten Wechsel' im Rotationsplan sowie der Ausschlusskriterien.

Generative KI setzt zum Erzielen hochwertiger Lösungen eine lückenlose und präzise Formulierung der Aufgabenstellung, des Kontextes und der Anforderungen voraus. Generell ist es zu bezweifeln, das typische Mitarbeiter in Produktion und Logistik über entsprechende sprachliche Kompetenzen verfügen, um in kurzer Zeit entsprechende Prompts zu erzeugen. Außerdem müssen die Stakeholder systematisch an

die Nutzung von generativer KI herangeführt und permanent im Training gehalten werden. Eine einmalige Schulung in Sachen KI wird hier nicht ausreichen, sondern bildet nur den Einstieg in einen Marathon.

Die skizzierte Vorgehensweise zur Entwicklung von Rotationsplänen ist im Rahmen von proRotation auf ein Assistenzsystem übertragen worden und kann den Planer bei der Entwicklung von Rotationsplänen unterstützen. Zur Erfassung von Beanspruchungen kommen in proRotation Tablet PCs zum Einsatz. Ein Erfolgsmerkmal von proRotation ist die systematische und frühzeitige Einbindung aller Stakeholder in die Entwicklung und Implementierung der Job-Rotation: Im Vorfeld der Belastungs- und Beanspruchungsanalysen fand eine intensive Aufklärung der Mitarbeiter über die Job-Rotation im Allgemeinen und die dynamische, beanspruchungsgerechte Job-Rotation statt. Dabei wurden die Befürchtungen und Ängste der Mitarbeiter systematisch ermittelt und in individuellen Gesprächen konstruktiv ausgeräumt. Die schrittweise Entwicklung von Rotationsplänen wurde intensiv durch die Mitarbeiter begleitet und zusammen wurden Pläne adaptiert. Schließlich fand die Einführung schrittweise mit Hilfe von Schnuppertagen und -wochen statt, in denen die Mitarbeiter ein Gefühl für die Job-Rotation gewinnen konnten. Grundlage für die Schnuppertage war eine intensive Qualifikation der Mitarbeiter für die zu besetzenden Arbeitsplätze. Danach kam es dann zu einer Einführung der Rotation in längeren Phasen, die wiederum durch Gespräche und Anpassungen begleitet worden sind. Auf diese Weise konnte die Akzeptanz für die zunächst skeptisch betrachtete Job-Rotation aufrechterhalten werden.

4. Zusammenfassung und Ausblick

In proRotation hat sich die systematische Anwendung generativer KI als mächtiges Werkzeug zur kundenorientierten Entwicklung und Implementierung eines Assistenzsystems zur partizipativen Rotationsplanung erwiesen. Die skizzierte Nutzung generativer KI als entwicklungs und implementierungsbegleitendes Werkzeug hat zu einer Verlagerung der Tätigkeiten auf die systematische Einbindung der Mitarbeiter geführt. Auf diese Weise konnten die zahlreichen Wünsche und Verbesserungen der Mitarbeiter schnell und präzise eingearbeitet werden. Insbesondere die Berücksichtigung aller Aspekte von Datenschutz, Persönlichkeitsschutz und Datensicherheit hat zur erfolgreichen Anwendung des Assistenzsystems geführt.

Die direkte Nutzung von generativer KI zur Rotationsplanung ist ebenfalls möglich! Dabei sind sprachliche und kapazitative Grenzen generativer KI zu beachten. Zusätzlich muss aus Gründen der durch die DASGVO und den europäischen AIAct vorgeschriebene Datensicherheit, des Datenschutzes und Persönlichkeitsschutzes eine lokale KI genutzt werden, damit keine Daten abfließen oder durch den Arbeitgeber abgegriffen werden können.

5. Literatur

Alter, S. (2013) „Work system theory: overview of core concepts, extensions, and challenges for the future“, *Journal of the Association for Information Systems*, S. 72.

Marrenbach, D., Braun, M. und Scholtz, O. (2022) „Soziotechnisches Design eines lernenden Bildverarbeitungssystems für einen Arbeitsplatz im Wareneingang eines Logistikzentrums“.

Marrenbach, D. und Geiger, L. (2019) „Job rotation, job enlargement, job enrichment“, in A. Gerlmaier und E. Latniak (Hrsg.) *Handbuch psycho-soziale Gestaltung digitaler Produktionsarbeit: Gesundheitsressourcen stärken durch organisationale Gestaltungskompetenz*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 359–363. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-658-26154-2_27.

Marrenbach, D.H. *u. a.* (2019) *Präventive Arbeitsgestaltung in Produktion und Logistik: menschengerecht, produktiv und zukunftsfähig: erfolgreiche Unternehmensbeispiele und Forschungsergebnisse : Dokumentation für PREVILOG und INGEMO*. Fraunhofer Verlag.

Raieli, S. und Iuculano, G. (2025) *Building AI Agents with LLMs, RAG, and Knowledge Graphs: A practical guide to autonomous and modern AI agents*. Packt Publishing Ltd.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Entwicklung eines integrierten KI-Reifegradmodells für KMU – Herausforderungen und Potenziale

Martin KRÖLL, Kristina BUROVA-KEßLER, Athanasios VOURLAS

Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, D-44801 Bochum

Kurzfassung: Der Beitrag basiert auf den Ergebnissen des EU-Projekts „Digitaler Coach Intelligence“ und adressiert die Frage, wie die Implementierung von KI-Lösungen in KMUs gefördert werden kann. Im Fokus steht die Entwicklung eines KI-Reifegradmodells, das an bestehende Managementerfahrungen von KMUs mit ISO-Standards und der High Level Structure anknüpft. Aufbauend darauf wird ein sozio-technischer Ansatz verfolgt mit dem Fokus auf der Selbsteinschätzung durch einen eigens entwickelten Fragebogen sowie der Gegenüberstellung der Bedeutung und Umsetzung zentraler KI-Faktoren. Erste empirische Ergebnisse zeigen, dass Transparenz, einfache Anwendbarkeit und konkreter Praxisnutzen entscheidend für die Akzeptanz von KI-Reifegradmodellen sind.

Schlüsselwörter: KI-Reifegradmodelle, KI-relevante ISO-Normen, EFQM-Modell, KMU, Künstliche Intelligenz, Digitaler Coach

1. Ausgangspunkt

Der Beitrag knüpft an die Forschungsergebnisse der EU-Projekte „Digitaler Coach“ und „Digitaler Coach Intelligence“ an, die jeweils über 2½ Jahre gefördert wurden bzw. werden. Zu den Projektpartnern zählen neben Lern- und Forschungsfabriken der Universität von Grenoble (Frankreich), der Universität Budapest (Ungarn) und der Ruhr-Universität Bochum (Deutschland) die Industrie- und Handelskammern aus Gabrovo (Bulgarien) und Pécs (Ungarn) sowie eine Unternehmensberatung aus Heraklion (Kreta, Griechenland). Im Mittelpunkt des Projekts „Digitaler Coach Intelligence“ steht u. a. die Forschungsfrage: Wie kann die Implementierung von KI-Lösungen in der Arbeitswelt insbesondere in KMUs in Europa gefördert werden?

Die Messung des KI-Reifegrads stellt einen zentralen Ausgangspunkt dar, um die Bereitschaft sowie den aktuellen Entwicklungsstand eines Unternehmens im Hinblick auf den Einsatz von KI zu bestimmen (Fulde, 2025; Hein-Pensel et al., 2023; Schuster et al., 2021). Dabei wird im Projekt die Auffassung vertreten, dass Reifegradanalysen nicht als eine einmalige Bewertung zu verstehen sind, sondern dem Qualitätsmanagementgedanken folgen und als Grundlage für kontinuierliche Lern- und Verbesserungsprozesse in Organisationen dienen (EFQM 2020, 2025). Auf diese Weise kann Transparenz über bestehende Entwicklungsbedarfe geschaffen werden.
Vor diesem Hintergrund wurde und wird im Projekt angestrebt, ein integriertes KI-Reifegradmodell zu entwickeln, das KI-Reifegradbewertung mit etablierten organisationalen Managementsystemen – insbesondere Total-Quality-Management (TQM), dem European Foundation for Quality Management-Modell (EFQM-Modell) und der High-Level Structure (HLS) der International Organization for Standardization (Bracke & Heß, 2023, Linß & Linß, 2024) – in Einklang bringt und zugleich die spezifischen Rahmenbedingungen von KMU berücksichtigt.

Dabei erweist es sich als vorteilhaft, sich im ersten Schritt einen Überblick über die vorhanden KI-Reifegradmodelle zu verschaffen (Schuster et. al. 2021) und diese im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit in KMU sowie ihre Anschlussfähigkeit an den TQM-Ansatz zu analysieren. Neben der systematischen Literaturanalyse wurden im Rahmen des Projekts mehrere Workshops durchgeführt, in denen aktuelle und etablierte KI-Reifegradmodelle mit Expertinnen und Experten diskutiert und evaluiert wurden. An die entsprechenden Erkenntnisse wurde im Rahmen der Entwicklung des neuen KI-Reifegradmodell angeknüpft. Ein erster Überblick zeigt, dass die Vielzahl vorhandener KI-Reifegradmodelle insbesondere für KMU eine Herausforderung darstellen, da sie die Auswahl eines geeigneten Modells erschwert. Viele KMUs verfügen zudem nicht über die notwendigen finanziellen und personellen Ressourcen, um sich intensiv mit den unterschiedlichen Reifegradansätzen auseinanderzusetzen oder komplexe Bewertungsverfahren eigenständig umzusetzen. Zudem besteht die Gefahr, dass wenn die jeweiligen KI-Reifegradmodelle isoliert in der betrieblichen Praxis eingesetzt werden, auf diese Weise das „Silo-Denken“ in den Unternehmen gefördert wird. Darüber hinaus besteht die Herausforderung, dass es ohne eine nachhaltige organisatorische Verankerung von KI-Lösungen zu einem punktuellen Aktionismus kommen kann.

Geht es jedoch um die Implementierung von KI-Lösungen, erweist sich insbesondere die jeweilige situations- und kontextspezifische organisatorische Einbettung dieser Lösungen von zentraler Bedeutung (Herrmann & Pfeifer, 2023). Ohne die entsprechende organisatorische Einbettung können die Vorteile der jeweiligen KI-Lösungen nicht genutzt werden. Diese Erkenntnis spricht dafür, bei der Entwicklung des KI-Reifegradmodells an bereits bekannten und etablierten organisationsbezogenen Managementmodellen anzuknüpfen und eine ganzheitliche Vorgehensweise im Bezug auf den Einsatz von KI-Reifegradmodellen zu favorisieren.

Vor diesem Hintergrund wird im vorliegenden Projekt an die Ausgangslage angeknüpft, dass die meisten KMUs bereits Erfahrungen im Umgang mit mindestens einer High Level Structure (HLS)-basierten internationalen Norm haben, wie sie insbesondere im Kontext der ISO-Standards zum Qualitätsmanagement verbreitet sind, oder diese zukünftig haben werden (Bracke & Heß, 2023, Linß & Linß, 2024). Diese bestehende Vertrautheit mit etablierten Managementsystemen wird als zentraler Ansatzpunkt für die Entwicklung, Erprobung und Etablierung eines integrierten KI-Reifegradmodells betrachtet. Darüber hinaus ist hervorzuheben, dass Modelle des Total Quality Management (TQM), die sich auf entsprechende ISO-Standards beziehen, einen geeigneten Orientierungsrahmen bereitstellen, um komplexe Transformationsprozesse - wie die Implementierung von KI-Lösungen - strukturiert einzuordnen und zu steuern und auf dieser Weise eine ganzheitliche Betrachtung und Gestaltung von Organisationen ermöglichen (Bruhn, 2023; Bruhn & Hadich, 2021). In diesem Kontext zählt auch das Exzellenzmodell der EFQM zu den etablierten Reifegradmodellen und dient der systematischen Bewertung erfolgskritischer Tätigkeiten und Ergebnisse (Schmutte & Niermann, 2017).

2. Theoretischer und konzeptioneller Bezugsrahmen

Im Folgenden werden die konzeptionellen Leitlinien und Kriterien dargestellt, die der Entwicklung eines KI-Reifegradmodells im Rahmen des EU-Projekts zugrunde liegen. Der Fokus liegt dabei auf die Förderung des Qualitätsmanagements in den KMUs sowie auf die Berücksichtigung von KMU-spezifischen Gegebenheiten. Eine weitere

Anforderung war und ist, dass das KI-Reifegradmodell bzw. dessen Einsatz dem sozio-technischen Ansatz (Kröll, 2020) Rechnung trägt. Dabei geht es darum, auf die Dimensionen Technologie, Personal sowie Organisation und deren gegenseitige Wechselwirkung einzugehen. Bezogen auf die Implementierung von KI-basierten Systemen und Lösungsansätzen erweist sich eine ganzheitliche Betrachtung strategischer, sozialer, organisatorischer und technischer Aspekte als vorteilhaft (Beath et al., 2013; Berente et al., 2021). Dabei können die entsprechenden KI-Systeme als sozio-technische Systeme interpretiert werden, die aus dem Zusammenspiel sozialer und technischer Komponenten hervorgehen. Die Berücksichtigung einer sozio-technischen Perspektive bei der Entwicklung von Reifegradmodellen erweist sich in diesem Zusammenhang als besonders geeignet.

Insgesamt sind KI-Reifegradmodelle Rahmenwerke, die Unternehmen helfen zu bewerten, wo sie derzeit in Bezug auf die Einführung und die Fähigkeiten von KI stehen, und sie mit der Zeit zu einer fortschrittlicheren und effektiveren Nutzung von KI zu führen (Khan, 2016; Limat, 2022, Schuster et al., 2021~~).~~ In diesem Zusammenhang können sie dazu beitragen, KI-Investitionen zu rechtfertigen, ein Benchmarking mit anderen Unternehmen zu ermöglichen, die Risiken bei der Skalierung von KI zu verringern und die Technologie mit den Geschäftszielen in Einklang zu bringen. Dazu werden verschiedene organisationale Dimensionen bewertet, wie z. B. Dateninfrastruktur, Talente und Fähigkeiten, KI-Strategie und -Governance, Technologie und Tools, Change Management und Kultur, Ethik und Compliance. Die Bewertung mit KI-Reifegradmodellen führt zu "Stufen" ("Levels") des KI-Reifegrads.

Es gibt mehrere bekannte KI-Reifegradmodelle, die jeweils von Beratungsunternehmen, Forschungseinrichtungen oder Technologieunternehmen (z. B. Gartner, McKinsey, Deloitte, Microsoft, IBM, BCG) entwickelt wurden. Diese Modelle unterscheiden sich teilweise in ihrer Struktur und Terminologie. Dabei können sie darauf abzielen, Unternehmen bei der Bewertung und Weiterentwicklung ihrer KI-Fähigkeiten zu unterstützen. Die verschiedenen methodischen Ansätze werden auf unterschiedliche Weise in die Modelle integriert. Beratungsunternehmen (Gartner, Deloitte, PwC) neigen dazu, strukturiert Fortschritt und Strategie zu betonen (CMMI und strategisches Management). Tech-Unternehmen (Microsoft, IBM) konzentrieren sich mehr auf die Dateninfrastruktur, DevOps und agile Bereitstellung. McKinsey und BCG integrieren Verhaltens- und Strategieaspekte und setzen dabei stark auf ein empirisches Benchmarking. Die Modelle des öffentlichen Sektors (Oxford Insights) stützen sich auf Politik, Infrastruktur und Benchmarking, nicht auf ein internes Änderungsmanagement.

Viele der derzeit verfügbaren Modelle erweisen sich in der praktischen Anwendung entweder als zu unspezifisch oder sie vernachlässigen wesentliche Qualitätsdimensionen wie Nachvollziehbarkeit, Compliance und kontinuierliche Verbesserung. Darüber hinaus fehlt es häufig an empirisch belastbaren Nachweisen sowie an der Fähigkeit, sich auf unterschiedliche Unternehmensgrößen und Branchenkontexte anzupassen (Limat, 2022). Insgesamt fehlt eine theoretisch fundierte Verbindung zwischen KI-Reifegradmodellen und etablierten Managementsystemen wie EFQM, ISO HLS oder TQM. Eine solche Verknüpfung erweist sich jedoch als vorteilhaft, um KI-Vorhaben umfassend zu betrachten und sie als festen Bestandteil organisationaler Entwicklung und des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses zu verankern.

Der im Projekt entwickelte Ansatz des KI-Reifegradmodells orientiert sich daher an international etablierten Managementstandards, insbes. dem EFQM-Modell und der

ISO High Level Structure und verbindet sie mit den Anforderungen der digitalen Transformation und KI-Governance. Entsprechende ISO-Regelungen, die sich mit KI-Anwendungen beschäftigen (u.a. ISO/IEC 38507:2022, ISO 5338:2023), werden dabei herangezogen. So können KMUs eine strukturierte Selbsteinschätzung ihrer Kompetenzen und Fortschritte im Bereich KI entlang von sieben Dimensionen durchführen – von Vision und Führung über Ressourcen und Prozesse bis hin zur kontinuierlichen Leistungsbewertung und -verbesserung. Damit wird ein Versuch unternommen, eine Brücke zwischen bestehenden Managementsystemen in KMUs, Organisationsentwicklung und den spezifischen Anforderungen von KI-Initiativen zu schlagen.

Durch die Favorisierung eines integrativen und holistischen Ansatzes wird versucht, den Einsatz von neuen Technologien – im vorliegenden Fall von KI-Lösungen – nicht einseitig auf technische Aspekte bzw. entsprechende Technologie-Beratungen zu reduzieren. In diesem Kontext wird auf die Erkenntnis zurückgegriffen, dass nicht von einem Technikdeterminismus auszugehen ist. Vielmehr wird die Integration von KI-Lösungen als ein komplexer sozio-technischer Transformationsprozess interpretiert (Plafky & Badertscher, 2025). Dieser kann von den verantwortlichen und betroffenen Akteuren in den Unternehmen aktiv mitgestaltet werden. Dabei erweist sich eine multi-perspektive Betrachtungsweise als vorteilhaft, die auch, aber nicht nur, auf konstruktivistische Ansätze zurückgreift.

3. Methodisches Vorgehen und Ergebnisse

Der Einsatz eines KI-Reifegradmodells wird im vorliegenden Projekt vor dem Hintergrund des Ansatzes der Selbsteinschätzung interpretiert. Demzufolge soll das Management von KMUs das KI-Reifegradmodell im Self-Assessment mit der Unterstützung eines Digital Coaches (DC) nutzen. Es geht also nicht darum, den Einsatz des KI-Reifegradmodells im Sinne eines professionellen Audits durchzuführen. Dabei wird von der Prämisse ausgegangen, dass die Vorstellungen des Top-Managements entscheidenden Einfluss auf ihr Handeln haben und sie auf diese Weise das betriebliche Geschehen maßgeblich beeinflussen können (Salzer et al, 2023, Kühle & Rohde, 2023).

Auch wenn die Vorstellung des Top-Managements unzutreffend sind oder es die Realität verzerrt wahrnimmt, bestimmt seine Vorstellung das Handeln, wenn es – wie im vorliegenden Fall - um die Implementierung von KI-Lösungen geht. Wenn das Top-Management bestimmten Faktoren eine hohe Bedeutung beimisst, dann ist dies ein entscheidender Ausgangspunkt für weitere Aktivitäten im betrieblichen Geschehen und Empfehlungen nicht zuletzt auch von dritter Seite. Das Top-Management hat letztlich bis zu einem gewissen Grad die Deutungshoheit bezogen auf die relevanten betrieblichen Zusammenhänge auch im Hinblick auf die Nutzung von KI-Lösungen.

Gleichzeitig wird in der wissenschaftlichen Auseinandersetzung darauf hingewiesen, dass insbesondere im Umgang mit KI-Technologien die Grenzen der bisherigen Deutungspraktiken aufgezeigt werden (Lachmund, 2014).

Die Ergebnisse sowohl im Hinblick auf die Bedeutung als auch bezogen auf die Einschätzung der jeweiligen Ausprägungen im Unternehmen sind Ausgangspunkt für die Aktivitäten, die der Digitale Coach (DC) durchführen kann. In diesem Kontext kann auf das Promotorenmodell aus der Innovationsforschung zurückgegriffen werden (Hauschildt et al., 2023). Dabei fällt dem Top-Management die Rolle des Machtpromotors und dem DC die Rolle des Prozesspromoters zu.

Das Top-Management kann Auskunft darüber geben, in welchen Bereichen der Handlungsbedarf aus ihrer Sicht am höchsten ist, wie z. B. die Ressourcen bzw. Technologieinfrastruktur, Führung und Strategie, Prozesse, Daten oder Personal. Geht das Top-Management beispielsweise davon aus, dass das Unternehmen durchaus über die erforderlichen Ressourcen, z. B. in Hinblick auf Finanzen und den Kompetenzen der Organisationsmitglieder verfügt, aber Defizite bei der Modellierung der relevanten Prozesse und der Aufbereitung der Daten vorliegen, dann kann der letzte Punkt als Ausgangspunkt für weitere Aktivitäten nicht zuletzt des DC dienen.

In diesem Kontext kann an die Ergebnisse der empirischen Studie zur Etablierung des Aufgabenfelds des DC angeknüpft werden (Kröll & Burova-Keßler, 2026). Ein Ergebnis dieser empirischen Studie war, dass das Top-Management einen bestimmten Druck zu Veränderungen sehen sollte – unabhängig ob dies realistisch oder unrealistisch ist. Diese Voraussetzung wurde als zentral angesehen, damit der DC aktiv werden kann. Wenn das Management eines Unternehmens keinen Bedarf an Veränderungen und/oder der Einleitung von entsprechenden Change-Management-Aktivitäten sieht, wird die Etablierung des Aufgabenfelds des DC kaum gelingen.

Die Ergebnisse des Einsatzes des im EU-Projekt entwickelten KI-Reifegradmodells können dem DC helfen, Hinweise zu erhalten, wo das Management Defizite und Stärken sieht, wenn es um die Implementierung von KI-Lösungen geht. Auf diese Weise kann der DC auf die kontextspezifischen Gegebenheiten in dem jeweiligen Unternehmen eingehen. Gleichzeitig kann der DC nicht nur auf die Defizite, die das Management sieht, sondern auch auf die Potenziale, die aus der Sicht des Managements vorhanden sind, anknüpfen.

Darüber hinaus erweist es sich als vorteilhaft, dass mit dem Einsatz des KI-Reifegradmodells das Ziel verfolgt wird, dass die Selbsteinschätzung bezogen auf die KI-Reife des Unternehmens aus der Sicht der verantwortlichen Akteure erfolgt. Dabei ist zu bedenken, dass der DC in der Regel weder ausreichend Zeit hat noch entsprechend qualifiziert ist, um ein professionelles Audit im Hinblick auf den KI-Reifegrad eines Unternehmens durchzuführen. Im Vorfeld der Entwicklung des vorliegenden KI-Reifegradmodells wurden bereits prinzipielle Überlegungenbezogen auf mögliche relevante Maßnahmen angestellt, die die Implementierung von KI-Lösungen ermöglichen und die auch in KMUs realisiert werden können.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Ziel verfolgt wird, ein ganzheitliches und integriertes KI-Reifegradmodell zu entwickeln, das die bestehenden Ansätze systematisch zusammenführt. Dafür ist geplant, die Kriterien und Teilthemen der relevanten KI-Reifegradmodelle den Aspekten etablierter Organisationsmanagement-Praktiken zuzuordnen und diese mit anerkannten Modellen und Rahmenwerken zu verzahnen. Als zentrale Orientierungspunkte dienen dabei die Kriterien des EFQM-Modells und der ISO HLS-Standards. Während das EFQM-Modell eine umfassende, holistische Betrachtung unterstützt, wird mit dem neuen Ansatz des Projekts zugleich die Erweiterung der KI-Reife im Sinne der digitalen Transformation behandelt.

Um das vorgestellte KI-Reifegradmodell weiter zu entwickelten wurde und wird ein Fragebogen zur „Erwartungsabfrage im Hinblick auf KI-Reifegradmodelle und deren Einsatz aus der Sicht von KMU“ konzipiert und eingesetzt. Der Fragebogen erfasst fünf Skalen bzw. Bereiche: allgemeine Fragen zu Akzeptanz und Vertrauen,

Organisation, Technik, Personal und die Demographie mit insgesamt 45 Items. Die Items konnten auf einer fünf-Punkte-Likert-Skala von eins (unwichtig) bis fünf (sehr wichtig) beantwortet werden. Erste Auswertungen des Fragebogens, an dem 14 Personen aus KMUs teilgenommen haben, kommen zu dem Ergebnis, dass die Ansprüche der befragten Personen besonders auf Transparenz, Einfachheit und nutzerorientierte Unterstützung fokussiert sind. Die Anforderungen sind dabei unmittelbar praxisbezogen und stellen den konkreten Nutzen sowie die Alltagstauglichkeit des Modells in den Mittelpunkt. Technik und Datenschutz werden als Grundvoraussetzung bewertet, aber nicht als Haupttreiber für die Verwendung des KI-Reifegradmodells. An dieser Stelle sind aber weiterführende und umfassendere Forschungsbemühungen notwendig und geplant.

5. Literatur

Bracke, St. & Heß, P. (2023). *Neue Methoden und Trends in der Qualitätswissenschaft*. Springer.

Bruhn M. (2023). Quality management for services: Handbook for successful quality management: principles - concepts - methods. Springer

Bruhn, M. & Hadwich, K. (2021): Künstliche Intelligenz im Dienstleistungsmanagement. Anwendungen, Einsatzbereiche und Herangehensweisen. Springer.

Fulde, T. (2025). KI-Readiness-Check. In: K. Altenfelder, S. Kieffer-Radwan, D. & Schönfeld, D. (Hrsg.): *Services Management und Künstliche Intelligenz*. Springer.

Hein-Pensel, F., Winkler, H., Brückner, A., Wölke, M., Jabs, I., Mayan, I. J., Kirschenbaum, A., Friedrich, J. & Zinke-Wehlmann, C. (2023). Maturity assessment for Industry 5.0: A review of existing maturity models. *Journal of Manufacturing Systems, 69*, 214–231.

Hauschildt, J., Salomo, S. & Schultz, C. (2023). *Innovationsmanagement* (7 Aufl.). Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Verlag Franz Vahlen.

Herrmann, T. & Pfeiffer, S. (2023) Keeping the organization in the loop: a socio-technical extension of human-centered artificial intelligence. *AI & SOCIETY, 38*, 1523–1542.

Khan, A. (2016). *Innovationsmanagement in der Energiewirtschaft: Entwicklung eines Reifegradmodells*. Springer.

Kröll, M. (2020). *Innovationsprojekte und organisationalen Wandel professionell gestalten*. Springer.

Kröll, M. & Burova-Keßler, K. (2026). Potenziale und Widerstände bei der Implementierung des Digitalen Coach Intelligence: Ergebnisse einer empirischen Studie. GfA (Hrsg.): Menschengerechte Arbeitsgestaltung, Sankt Augustin.

Kühle, A. & Rohde, A. (2023): Digitalisierung in der Unternehmenskommunikation. In: Lucas, C. & Schuster, G. (Hrsg.), Innovatives und digitales Marketing in der Praxis, S. 395 – 414.

Lachmund, J. (2014). Wiebe Bijker und Trevor Pinch: Der sozialkonstruktivistische Ansatz in der Technikforschung. In: *Schlüsselwerke der Science & Technology Studies* (S.145–154). Springer.

Limat, C. (2022). Disruptionspotenzial künstlicher Intelligenz: Ein Reifegradmodell zur Einführung ganzheitlicher KI-Initiativen in Unternehmen. *Wirtschaftsinformatik & Management, 14*(1), 60–67.

Linß, G. & Linß, E. (2024). *Qualitätsmanagement.* (5. Aufl.). Carl Hanser Verlag.

Plafky, Ch. & Badertscher, H. (2025). Transformation der Sozialen Arbeit durch KI: Netzwerktheoretische und konstruktivistische Perspektiven. In: G. Linnemann, J. Löhe & B. Rottkemper (Hrsg.): *Künstliche Intelligenz in der Sozialen Arbeit: Grundlagen für Theorie und Praxis* (S. 339-396). Beltz.

Salzer, E., Johannsen, K. & Reinhold, Th. (2023): Erfolgsfaktor Unternehmenskommunikation. Springer-Gabler-Verlag

Schmutte, A. M., & Niermann, P. F.-J. (2017). Der „Stresstest“ für die Wettbewerbsfähigkeit: Systematische Potenzialanalyse mit Reifegradmodellen. In P. F.-J. Niermann & A. M. Schmutte (Hrsg.), *Managemententscheidungen: Methoden, Handlungsempfehlungen, Best Practices* (2. Aufl., S. 57–73). Springer Gabler.

Schuster, T., Waidelich, L., Volz, R. & Gesellschaft für Informatik e.V. (2021). Reifegradmodelle zur Bewertung Künstlicher Intelligenz in kleinen und mittleren Unternehmen. In *INFORMATIK*, Lecture Notes in Informatics (LNI).

Erfolgsfaktoren für die betriebsspezifische Gestaltung und Einführung LLM-basierter Informationssysteme

Dominik GREEN, Benjamin ADRIAN, Sven HINRICHSEN

Labor für Industrial Engineering, Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe
Campusallee 12, D-32657 Lemgo

Kurzfassung: Large Language Models (LLMs) bilden eine wichtige technologische Grundlage für KI-basierte Informationssysteme, etwa in Form von Chatbots. In der Industrie dienen solche Systeme beispielsweise der Bereitstellung von Lernmaterialien für die Beschäftigten (Dommermuth et al. 2025). Bei der betriebsspezifischen Gestaltung und Einführung von entsprechenden Anwendungen ist eine Vielzahl an Entscheidungen zu treffen, etwa zur Auswahl eines geeigneten Sprachmodells, zur Integration von betrieblichen Daten oder zur Gewährleistung des Datenschutzes und der Datensicherheit. Grundlegendes Ziel der Gestaltung eines LLM-basierten Informationssystems ist es, eine hohe Qualität der ausgegebenen Informationen und einen geringen Zeitaufwand für das Erreichen des Ergebnisses zu gewährleisten sowie gleichzeitig eine hohe Nutzerzufriedenheit zu erlangen. Vor dem Hintergrund der wachsenden betrieblichen Relevanz des Themas zielt dieser Beitrag darauf ab, Erfolgsfaktoren für die betriebsspezifische Gestaltung und Einführung von LLM-basierten Informationssystemen zu identifizieren, zu kategorisieren und zu beschreiben. Dazu wurde zunächst eine systematische Literaturrecherche auf Basis der PRISMA-Richtlinie durchgeführt. Anschließend wurde eine Methode der qualitativen Inhaltsanalyse eingesetzt, um Erfolgsfaktoren zu identifizieren und zu klassifizieren. Im Ergebnis konnten 31 Erfolgsfaktoren identifiziert werden. Diese wurden sechs Kategorien zugeordnet.

Schlüsselwörter: Large Language Model, Informationssystem, Erfolgsfaktoren

1. Einleitung

Die Leistungsfähigkeit von Large Language Models (LLMs) hat sich in den letzten Jahren erheblich verbessert, sodass diese heute in vielen Betrieben zum Einsatz kommen (Raiaan et al. 2024). Die Anwendungsfälle sind vielfältig: Dommermuth et al. (2025) beschreiben etwa KI-Chatbots für Lerninhalte in der Industrie, während Ziche und Apruzzese (2024) den Einsatz zur Prozessmodellierung im Bauwesen hervorheben. Mit der Gestaltung solcher Systeme geht jedoch eine Vielzahl an Entscheidungen einher. Beispielsweise ist die Wahl des Modells sowie die Datenbankarchitektur entscheidend für die Qualität der Informationsausgabe (Hafner & Hundertmark 2024). Zudem können etwa regelmäßige Modellanpassungen zu einer hohen Effektivität und Effizienz beitragen (Annepaka & Pakray 2024). Technisch lassen sich LLMs, z. B. über Retrieval-Augmented Generation (RAG), mit internem Wissen verknüpfen, wobei professionelles Prompt Engineering die Ergebnisse weiter verbessert (z. B. Herbort et al. 2025). Angesichts dieser komplexen Gestaltungsaufgabe bedarf es eines strukturier-

ten Ansatzes, der Unternehmen methodische Unterstützung bei der Planung, Entwicklung und Wartung LLM-basierter Informationssysteme bietet. Ein solches Vorgehen stellt sicher, dass domänen- und betriebsspezifische Anforderungen berücksichtigt werden (Chen et al. 2024). Erkenntnisse in Bezug auf eine methodische Unterstützung liefert ein Beitrag von Hinrichsen et al. (2025), in dem u. a. Erfolgsfaktoren für die Gestaltung und Einführung von LLM-basierten Informationssystemen beschrieben werden. Da sich das beschriebene Forschungsfeld dynamisch weiterentwickelt, zielt der vorliegende Beitrag darauf ab, die Ergebnisse dieses ersten Beitrages zu ergänzen, um einen aktuellen Überblick zu Erfolgsfaktoren für die betriebsspezifische Gestaltung und Einführung von LLM-basierten Informationssystemen zu geben. Zudem sollen die Erfolgsfaktoren systematisiert werden.

2. Methode

Zur Zielerreichung wird ein zweistufiges Vorgehen gewählt. Im ersten Schritt werden mittels einer systematischen Literaturanalyse unter Anwendung der PRISMA-Methode (Page et al. 2021) Publikationen identifiziert, die Erfolgsfaktoren für die Gestaltung, Implementierung und Nutzung von LLM-basierten Informationssystemen beschreiben. Im zweiten Schritt werden die identifizierten Literaturquellen mithilfe einer qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet. Für die systematische Literaturrecherche wurde die Datenbank Scopus unter Verwendung des Suchstrings „design principles UND large language models“ genutzt. Dabei wurden nur Beiträge berücksichtigt, die ab dem Jahr 2024 erschienen sind. Die Vorgehensweise der systematischen Literaturrecherche ist in Abbildung 1 dargestellt.

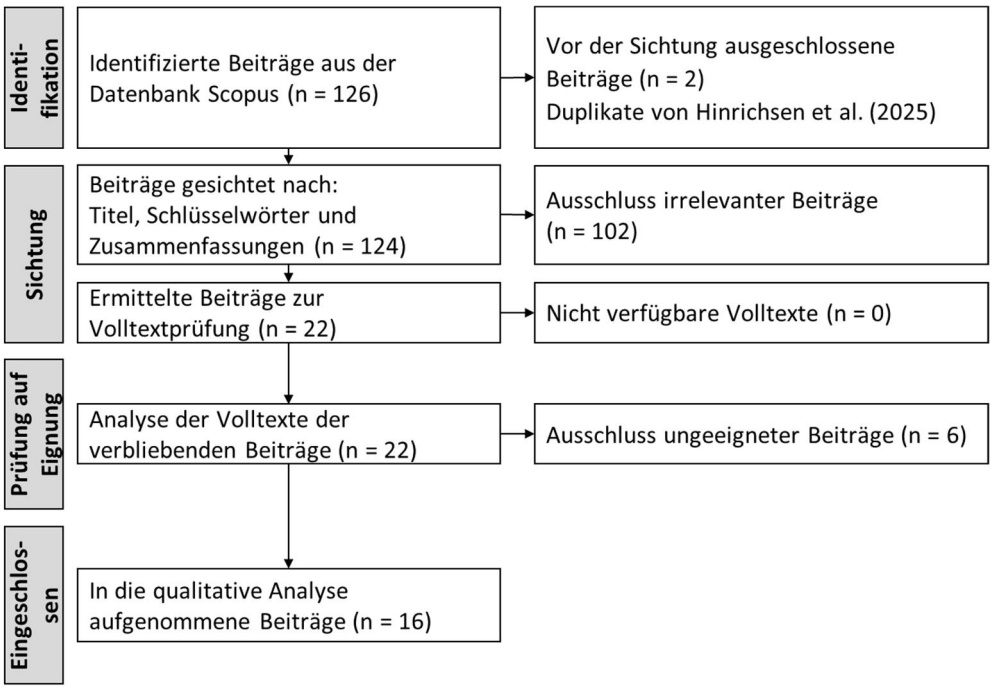


***Abbildung 1**: Vorgehensweise der systematischen Literaturrecherche.*

Mittels der verwendeten Suchbegriffe wurden insgesamt 126 Treffer identifiziert. Um Redundanzen zu vermeiden, wurde dieser Bestand zunächst um Beiträge berei-

nigt, die bereits im Kontext der ersten Studie ermittelt worden waren. Daraus resultierten 124 zu prüfende Publikationen. Anschließend wurden Titel, Abstracts und Keywords der verbliebenen Beiträge gesichtet, wodurch 22 Beiträge als potenziell relevant eingestuft wurden. Die darauffolgende detaillierte Eignungsprüfung anhand der Volltexte reduzierte die Auswahl auf 18 Beiträge. Nach dem Ausschluss zwei weiterer Quellen, die den qualitativen Anforderungen nicht genügten, bildeten 16 Beiträge die endgültige Datengrundlage.

Die qualitative Inhaltsanalyse wurde nach einem kombinierten deduktiv-induktiven Verfahren durchgeführt. Zunächst wurden induktiv Erfolgsfaktoren nach der Methode von Mayring (2000) identifiziert und beschrieben sowie mit den bereits im ersten Beitrag (Hinrichsen et al. 2025) gefundenen Erfolgsfaktoren zusammengeführt. Anschließend wurden die Erfolgsfaktoren deduktiv dem Modell eines Informationssystems zugeordnet, das auf dem EVA-Prinzip, der Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe (z. B. Mertens et al. 2017), basiert.

3. Ergebnisse

Mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse konnten insgesamt 31 Erfolgsfaktoren für die Gestaltung und Einführung von LLM-basierten Informationssystemen identifiziert werden. Die Einteilung der Erfolgsfaktoren erfolgte auf Basis des EVA-Informationsmodells in sechs Kategorien: 1. Informationssystem, 2. Eingabe, 3. Verarbeitung, 4. Ausgabe, 5. Datenspeicher und 6. Benutzer. Abbildung 2 zeigt den Aufbau des Modells sowie die quantitative Verteilung der Erfolgsfaktoren je Kategorie. So wurden beispielsweise zur Kategorie Ausgabe acht Erfolgsfaktoren identifiziert, während zu den Kategorien Eingabe, Datenspeicher und Benutzer lediglich jeweils vier Erfolgsfaktoren ermittelt werden konnten.

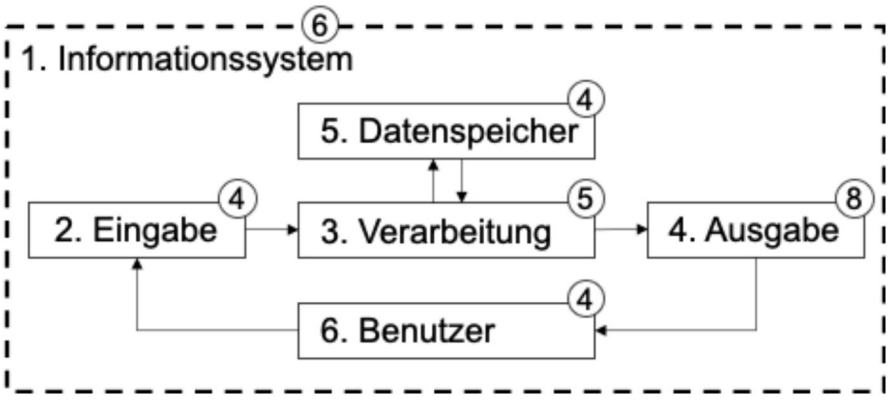


***Abbildung 2**: Kategoriensystem und Anzahl der Erfolgsfaktoren je Kategorie.*

Tabelle 1 stellt einen Auszug aus dem Katalog der 31 Erfolgsfaktoren dar. Dabei werden zu jeder der sechs Kategorien – 1. Informationssystem, 2. Eingabe, 3. Verarbeitung, 4. Ausgabe, 5. Datenspeicher und 6. Benutzer – exemplarisch zwei Erfolgsfaktoren aufgeführt und beschrieben. Der vollständige Katalog ist auf der Plattform ResearchGate unter den bibliographischen Angaben dieses Artikels als Zusatzmaterial verfügbar.

Tabelle 1: *Auszug aus dem Katalog von Erfolgsfaktoren.*

Kategorie	Erfolgsfaktoren	Erläuterungen
1	Übergeordnete unternehmensspezifische Richtlinie	Die Sicherheit bei der Verknüpfung von Unternehmensdaten mit Sprachmodellen hat einen großen Stellenwert, da diese entscheidend für die Akzeptanz der Nutzer und das Vertrauen in solche Systeme ist. Um die Sicherheit zu gewährleisten, bedarf es klarer übergeordneter Richtlinien für die Systemgestaltung, die sowohl Entwicklern als auch Anwendern durch Schulungen vermittelt werden. Dadurch kann beispielsweise die Wahrscheinlichkeit erfolgreicher Prompt-Injection-Angriffe erheblich verringert werden. (Chakladar 2024, Chen et al. 2024, Morabito & Jang 2025, Freire et al. 2023, Oelen et al. 2024, Yao & Li 2024)
1	Aufgabenspezifische Nutzung von LLMs	Um eine hohe Qualität der Informationsausgabe des LLM-basierten Informationssystems zu gewährleisten, ist eine Aufgabenspezifizierung des Systems notwendig. Gleichzeitig sollten komplexe Aufgaben in kleinere Teilaufgaben zerlegt werden. Diese modulare Struktur verringert die Komplexität der Einzelaufgaben und sorgt für ein hohes Maß an präzisen, relevanten und vollständigen Antworten. (Chen et al. 2024, Annamaa 2024, Shen et al. 2025, Jiang et al 2025, Morabito & Jang 2025, Chakladar 2024, Chen et al. 2023, Yun et al. (2025), Ghafarollahi & Buehler 2024)
2	Prompt Engineering und Qualität der Prompt Eingaben	Die Qualität der Eingaben kann mithilfe der Methoden der Informationseingabe (Prompt Engineering) verbessert werden, wodurch die Qualität der Informationsausgabe signifikant erhöht werden kann. (Chen et al. 2024, Herbort et al. 2025, Uygun et al. 2024, Singh 2025, Chakladar 2024, Jiang et al. 2025, Chen et al. 2023, Córdova-Esparza 2025, Holstein et al. 2025, Gogineni 2025)
2	Systemreaktion bei Fehlererkennung	Das LLM-System sollte eine Möglichkeit bieten, auf Fehler zu reagieren. Diese Systemreaktion kann eine vollumfängliche Fehlerbehebung, eine Auswahl an Behebungsvorschlägen oder eine neue Generierung der Ausgabe beinhalten. (Oelen et al. 2024, Morabito & Jang 2025)
3	Auswahl des LLM	Die Auswahl des LLM hat einen großen Einfluss auf die Qualität der Informationsausgabe. Es sollte zudem stets die neueste Version eines LLM verwendet werden. (Herbort et al. 2025, Singh 2025, Chen & Wang 2025, Ghafarollahi & Buehler 2024)
3	Multi-Agenten-System zur Entlastung des Nutzers	Multi-Agenten-Systeme bearbeiten komplexe Aufgaben inklusive Planung und Werkzeugnutzung autonom im Hintergrund, wodurch ein manuelles Eingreifen entfällt. Der Nutzer wird entlastet, indem sich sein Eingriff auf die Problemdefinition beschränkt, während die Bereitstellung der Lösung automatisiert erfolgt. (Córdova-Esparza 2025, Ghafarollahi & Buehler 2024)
4	Kennzeichnung der Ergebnisqualität von Antworten	Wenn durch das LLM Unsicherheiten bezüglich der Qualität der Ausgaben erkannt werden, sollte ein Hinweis angezeigt werden, dass eine Prüfung durch den Nutzer ratsam ist. (Chen et al. 2024)
4	Bereitstellung von Erläuterungen der Ergebnisherleitung durch das LLM	Die Erläuterung der Herleitung einer Ausgabe des LLMs ermöglicht es dem Nutzer, das Ergebnis nachvollziehen zu können und damit die Reproduzierbarkeit der Antwort zu gewährleisten. (Chen et al. 2024, Chiang et al. 2023, Shetty et al. 2024, Wasi et al. 2024, Shen et al. 2025, Kalodanis et al. 2024, Yun et al. 2025, Ke & Ng 2025)
5	Qualität der Daten eines RAG-Systems	Ausschlaggebend für die Qualität der Ausgabe ist die qualitative Güte des Wissenskontextes, der durch das RAG-System (Retrieval Augmented Generation) bereitgestellt wird. (Chen et al. 2024, Herbort et al. 2025, Uygun et al. 2024, Singh 2025, Chakladar 2024, Jiang et al. 2025)
5	Nutzung von Knowledge-Graphen	Zur Vermeidung von Halluzinationen bei der Ausgabe eines LLMs können Knowledge-Graphen eingesetzt werden. Dieses Verfahren ermöglicht die Integration unternehmensspezifischer Daten, wodurch die Relevanz und Qualität der generierten Inhalte stark erhöht werden kann. (Ghafarollahi & Buehler 2024)
6	Personalisierung des Informationssystems	Für eine erfolgreiche Personalisierung der Interaktion muss das System über ein Verständnis der individuellen Präferenzen des Nutzers verfügen. (Shen et al. 2025)
6	Einholung und Verwendung von Nutzerfeedback	Die Integration von Nutzerfeedback in das LLM-System kann die Informationsqualität der Ausgabe erhöhen. (Oelen et al. 2024, Freire et al. 2023, Delaflor et al. 2024, Lee et al. 2023, Chiang et al. 2023, Córdova-Esparza 2025, Wasi et al. 2024, Holstein et al. 2025, Kalodanis et al. 2024, Ke & Ng 2025, Ghafarollahi & Buehler 2024)

4. Diskussion und Fazit

LLM-basierte Informationssysteme gewinnen zunehmend an Bedeutung. Bei der betriebsspezifischen und nutzerzentrierten Gestaltung solcher Systeme ist allerdings eine Vielzahl an Entscheidungen zu treffen, weshalb es einer methodischen Unterstützung für deren Gestaltung und Einführung bedarf. Hierzu trägt die vorliegende Zusammenstellung und Einordnung von Erfolgsfaktoren bei, die sowohl bei der Systemgestaltung und -implementierung als auch bei der Nutzung zu berücksichtigen sind. Die einzelnen Erfolgsfaktoren sowie das Kategoriensystem sind aufgrund der hohen Entwicklungsdynamik im untersuchten Anwendungs- und Forschungsgebiet der LLM-basierten Informationssysteme kontinuierlich zu aktualisieren.

5. Literatur

Annamaa S (2024) Chatbots in Software Release Optimization: Case Study. https://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-202412197913.

Annepaka Y, Pakray P (2024) Large language models: a survey of their development, capabilities, and applications. In: Wu X, Cook D, Tao D (Eds) Knowledge and Information Systems – An International Journal. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/s10115-024-02310-4.

Chakladar RD (2024) Best Practices for Implementing Large Language Models at Scale. International Journal of Core Engineering & Management. https://doi.org/10-2024-current-issue/.

Chen B, Zhang Z, Langrene N, Zhu S (2024) Unleashing the potentials of prompt engineering in Large Language Models: a comprehensive review. https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.14735.

Chen J, Zacharias J (2024) Design Principles for Collaborative Generative AI Systems in Software Development. In: Mandviwalla M, Söllner M, Tuunanen T (Eds) Design Science Research for a Resilient Future. Volume 14621. Cham: Springer, 341-354. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61175-9_23.

Chiang CH, Lee HY (2023) A Closer Look into Automatic Evaluation Using Large Language Models. https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.05657.

Córdova-Esparza DM (2025) Ai-powered educational agents: Opportunities, innovations, and ethical challenges. Information 16:469. https://doi.org/10.3390/info16060469.

Delaflor M, Toxtli C, Gendron C, Li W, Solorzano C (2024) ReActIn: Infusing Human Feedback into Intermediate Prompting Steps of Large Language Model. In: Ahram T, Taiar R (Eds) Human Interaction and Emerging Technologies (2024). Volume 120. USA: AHFE Open Access. http://doi.org/10.54941/ahfe1004597.

Dommermuth M, Riesch L, Guedria (2025) Menschenzentrierter KI-Chatbot zur individuellen Bereitstellung vertrauenswürdiger Lerninhalte. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) Arbeit 5.0. Volume 43. Dortmund: GfA-Press, 963-968. https://doi.org/10.61063/FK2025.

Freire SK, Foosherian M, Wang C, Niforatos E (2023) Harnessing Large Language Models for Cognitive Assistants in Factories. New York, NY: Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3571884.3604313.

Ghafarollahi A, Buehler MJ (2024) Sciagents: Automating scientific discovery through multi-agent intelligent graph reasoning. https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.05556.

Gogineni V (2025) LLM-Powered Multi-Agent Systems: A Technical Framework for Collaborative Intelligence Through Optimized Knowledge Retrieval and Communication. IEEE, 452-456. https://doi.org/10.1109/AIRC64931.2025.11077480.

Hafner N, Hundertmark S (2024) Large Language Models im Kundendialog – Chancen, Risiken, Ausblicke. In: Hafner N, Hundertmark S (Eds) Kundendialog Management. Springer, 239-248. https://doi.org/10.1007/978-3-658-42851-8_16.

Herbort R, Green D, Hinrichsen S (2025) Automatic Creation of Assembly Instructions by Using Retrieval Augmented Generation. In: Ahram T, Karwowski W, Martino C, Bucchianico GD, Maselli V (Eds) Intelligent Human Systems Integration (2025). Volume 160. USA: AHFE Open Access. https://doi.org/10.54941/ahfe1005883.

Hinrichsen S, Herbort R, Green D, Adrian B (2025) How to Design an Operation-Specific LLM-Based Information System. In: Ahram TZ, Motschnig R (Eds) Human Interaction and Emerging Technologies (IHIET 2025). USA: AHFE Open Access, Vol-5. https://doi.org/10.54941/ahfe1006709.

HmbBfDI (2024) Large Language Models und personenbezogene Daten. Hamburgische Beauftragte für Datenschutz und Informationsfreiheit. https://datenschutz-hamburg.de/news/hamburger-thesen-zum-personenbezug-in-large-language-models.

Holstein J, Müller P, Vössing M, Fromm H (2025) Designing AI Assistants for Novices: Bridging Knowledge Gaps in Onboarding. https://doi.org/10.24251/HICSS.2025.456.

Jiang P, Han J, Ahmed-Kristensen S (2025) A two-stage retrieval-augmented generation framework for producing sustainable product design guidelines. Sustainable Futures 10:101094. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.101094.

Kalodanis K, Rizomiliotis P, Feretzakis G, Kalles D, Verykios V, Anagnostopoulos D (2024) Enhancing Transparency in Large Language Models to Meet EU AI Act Requirements. Proceedings of the 28th Pan-Hellenic Conference on Progress in Computing and Informatics, 281-286. https://doi.org/10.1145/3716554.371659.

Ke PF, Ng KC (2025) Human-AI synergy in survey development: implications from large language models in business and research. ACM Transactions on Management Information Systems 16:1-39. https://doi.org/10.1145/3700597.

Lee D, Whang T, Lee C, Lim H (2023) Towards Reliable and Fluent Large Language Models: Incorporating Feedback Learning Loops in QA Systems. https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.06384.

Mayring P (2000) Qualitative Inhaltsanalyse. In: Flick U, Kardorff Ev, Steinke I (Eds) Qualitative Forschung. Ein Handbuch. Volume 53, 468-475. https://doi.org/10.1007/s11577-001-0131-1.

Mertens P, Bodendorf F, König W, Picot A, Schumann M, Hess T (2005) Grundzüge der Wirtschaftsinformatik. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Morabito R, Jang S (2025) Smaller, Smarter, Closer: The Edge of Collaborative Generative AI. IEEE Internet Computing. https://doi.org/10.1109/MIC.2025.3575493.

Oelen A, Auer S (2024) Leveraging Large Language Models for Realizing Truly Intelligent User Interfaces. In: Mueller FF, Kyburz P, Williamson JR, Sas C (Eds) Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York, NY: Association for Computing Machinery, 1-8. https://doi.org/10.1145/3613905.3650949.

Page MJ et al. (2021) The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. The BMJ 372:No. 71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71.

Raiaan MAK, Mukta SH, Fatema K, Fahad NM, Sakib S, Mim MMJ, Ahmad J, Ali ME, Azam S (2024) A Review on Large Language Models: Architectures, Applications, Taxonomies, Open Issues and Challenges. IEEE Access 12. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3365742.

Shen WC, Lin FR, Yang YH, Wang WC (2025) Design Principles for Human-AI Collaborative Knowledge Service Systems. In: International Conference on Knowledge Management in Organizations. Cham: Springer Nature Switzerland, 3-12. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95901-1_1.

Shetty M, Chen Y, Somashekar G, Ma M, Simmhan Y, Zhang X, Rajmohan S (2024) Building ai agents for autonomous clouds: Challenges and design principles. Proceedings of the 2024 ACM Symposium on Cloud Computing, 99-110. https://doi.org/10.1145/3698038.3698525.

Singh S (2025) Systems Engineering of Large Language Models for Enterprise Applications. Preprints. https://doi.org/10.20944/preprints202501.0715.v1.

Uygun Y, Momodu V (2024) Local large language models to simplify requirement engineering documents in the automotive industry. Production & Manufacturing Research 12:No. 1. https://doi.org/10.1080/21693277.2024.2375296.

Wasi AT, Islam MR (2024) CogErgLLM: Exploring large language model systems design perspective using cognitive ergonomics. https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.02885.

Yao X, Li X (2024) Implementing User-Friendly Knowledge Services for University Students Using Large Language Models. IEEE, 976-981. https://doi.org/10.1109/ACAIT63902.2024.11022285.

Yun B, Feng D, Chen AS, Nikzad A, Salehi N (2025) Generative ai in knowledge work: Design implications for data navigation and decision-making. Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1-19. https://doi.org/10.1145/3706598.3713337

Ziche C, Apruzzese G (2024) LLM4PM: A case study on using Large Language Models for Process Modeling in Enterprise Organizations. In: Di Ciccio C et al. (Eds) Business Process Management. Volume 527. Springer Nature, 472-483. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70445-1_35.

Danksagung: Der Beitrag ist im Rahmen des Projektes KIPro entstanden. Das Projekt wird vom Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr (dtec.bw) mit Mitteln der Europäischen Union (NextGenerationEU) gefördert.

Entwicklung eines KI-Chatbots zur sicherheits- und gesundheitsgerechten Gestaltung von Coworking Spaces

Christoph SCHIEFER[1], Susanne ROSCHER[2]

[1] Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin
[2] Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG)
Massaquoipassage 1, D-22305 Hamburg

Kurzfassung: Coworking Spaces sind flexible, geteilte Arbeitsorte; für den Arbeitsschutz bleiben die Schutzziele gleich, aber Zuständigkeiten und Zugriffsmöglichkeiten sind häufig verteilt, was Gefährdungsbeurteilungen und das Umsetzen von Maßnahmen erschwert.
Ein KI-gestützter, deutschsprachiger „closed domain"-Chatbot soll Informationen zur sicherheits- und gesundheitsgerechten Gestaltung von Coworking Spaces dialogisch zugänglich machen und verschiedene Nutzerrollen (Betreibende, Arbeitgebende, Nutzende) adressieren, um einen alternativen Kommunikationskanal zu den bisherigen statischen Broschüren und Website anzubieten und zu erproben.
Methodisch umfasst das Projekt die Bedarfsanalyse, technische Umsetzung, strukturierte Content-Aufbereitung und Qualitätssicherung (Zitierpflicht, Validierung, Human-in-the-loop). Mit einer Evaluation des Test-Chatbots soll Usability, Nutzen und Vertrauen zusammen mit Betreibern von Coworking Spaces geprüft werden.

Schlüsselwörter: Coworking Spaces, ChatBot, Sicherheits- und Gesundheitsgerechte Arbeitsplatzgestaltung

1. Einleitung

Coworking Spaces (CWS) sind gemeinschaftlich genutzte Arbeitsorte, die orts- und zeitflexibles Arbeiten mit einer geteilten Infrastruktur (z. B. Internet, Besprechungsräume, Sanitär- und Küchenbereiche) sowie häufig mit Angeboten zur Vernetzung verbinden. Sie gelten als Ausdruck einer stärker multilokalen und dynamischen Büroarbeit, die durch Digitalisierung und Flexibilisierung vorangetrieben wird. Eine Bestandsaufnahme zu Sicherheit und Gesundheit in Coworking Spaces beschreibt Coworking als mobile Büroarbeitsform, deren Nutzung auch für abhängig Beschäftigte relevant ist (DGUV, 2022).

Damit entsteht für Prävention und Arbeitsgestaltung eine doppelte Herausforderung: Einerseits bleiben die gesetzlichen Schutzziele des Arbeitsschutzes unverändert, andererseits sind Zuständigkeiten, Zugriffs- und Gestaltungsmöglichkeiten in CWS häufig verteilt. Arbeitgebende müssen die Arbeitsbedingungen beurteilen, Maßnahmen ableiten und dokumentieren (u. a. §§ 5–6 ArbSchG; BMJ). Zudem sind Mindestanforderungen an das Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten zu erfüllen (ArbStättV; BMJ). Für Bildschirm- und Büroarbeitsplätze konkretisiert die DGUV Information 215-410 ergonomische, arbeitsmedizinische und arbeitspsychologische Aspekte, die in Coworking-Umgebungen typischerweise berührt sind (DGUV, 2019).

Die DGUV-Bestandsaufnahme verweist darauf, dass die Bedingungen in CWS

stark variieren und dass eine systematische Gefährdungsbeurteilung insbesondere dann erschwert ist, wenn Beschäftigte wechselnde CWS nutzen oder der Arbeitgebende keinen direkten Zugriff auf räumliche und technische Gestaltung hat (DGUV, 2022). Daraus folgt ein Bedarf an gut zugänglichen, zielgruppengerechten Informationen, die konkrete Handlungsoptionen aufzeigen und zugleich die jeweiligen Rollen (Betreibende, Arbeitgebende, Nutzende) adressieren und erreichen.

Um diesen Wissenstransfer zu unterstützen, wurden in einem DGUV-Sachgebiet „Neue Formen der Arbeit“ Informationsangebote zum Thema CWS aufgebaut. Das vorliegende Projekt zielt darauf, ein interaktives, KI-gestütztes Instrument zu entwickeln, das Inhalte der DGUV-Information zu Coworking Spaces sowie verlinkte geprüfte Quellen in einem dialogischen Format verfügbar macht.

Der Beitrag beschreibt das methodische Vorgehen von der Bedarfsanalyse über Content-Aufbereitung und technische Umsetzung bis zur Evaluation in einer geschlossenen Testumgebung. Im Mittelpunkt stehen Maßnahmen zur Begrenzung auf geprüfte Inhalte, zur Steigerung der Antwortqualität und zur Vorbereitung eines nachhaltigen Betriebs- und Pflegekonzepts. Neben der reinen Informationsbereitstellung zielt das Vorhaben darauf ab, den Dialog zwischen Präventionswissen und konkreten Anwendungsfällen zu unterstützen, indem relevante Aspekte strukturiert abgefragt und anschließend auf passende Anforderungen und Empfehlungen verwiesen wird.

2. Methode

Das Vorgehen folgt einer Projektmethodik mit fünf Aufgabenpaketen, die im Folgenden beschrieben werden.

2.1 Bedarfsanalyse und Anforderungsdefinition

Stakeholder aus Coworking-Space-Verbänden und Betreibenden sowie potenzielle Nutzergruppen (Nutzende und Arbeitgebende) werden in leitfadengestützten Gesprächen einbezogen. Erfragt werden u. a. typische Informationsbedarfe, bisher genutzte Informationsquellen, wahrgenommene Unsicherheiten, gewünschte Antwortformate, Anforderungen an Transparenz/Vertrauenswürdigkeit sowie technische bzw. organisatorische Hürden. Die Ergebnisse werden in einem priorisierten Anforderungskatalog zusammengeführt.

2.2 Chatbot-Design und technische Umsetzung

Die technische Plattform wird unter Berücksichtigung von Lizenzkosten, Integrationsfähigkeit und Sicherheitsanforderungen ausgewählt. Der Betrieb erfolgt zunächst in einer nicht-öffentlichen „Sandbox“ für eine definierte Projektgruppe. Designprinzipien sind: (1) deutschsprachige Interaktion, (2) „closed domain“-Betrieb mit festgelegter Wissensbasis, (3) Nachvollziehbarkeit durch Quellenhinweise, (4) Filter gegen Themenabweichungen sowie (5) Wartbarkeit und Updatefähigkeit.

2.3 Content-Erstellung und Qualitätssicherung

Die DGUV-Inhalte und verlinkten Dokumente werden in eine strukturierte Wissensdatenbank überführt (Segmentierung, Metadaten, Versionierung). Für die Beantwor-

tung von Nutzerfragen wird ein Retrieval-Augmented-Generation-Ansatz (RAG) vorgesehen (Lewis et al., 2020): Dazu wird das verwendete Sprachmodel (LLM) mit einer Wissensquelle gekoppelt, um gezielt Antwort-Inhalte auf Grundlage der gesicherten Wissensquell zu erstellen und die Antwort mit dem LLM formulieren zu lassen. RAG wurde als Architektur eingeführt, um generative Large Language Modelle (LLM) mit einer speziellen Wissensbasis zu koppeln und so spezifischere Antworten zu unterstützen.

Zur Qualitätssicherung werden (a) thematische Leitplanken (z. B. Systemprompt, Whitelisting der Dokumente), (b) Ausgabevalidierung (z. B. Pflicht zur Zitierung der zugrunde liegenden Passagen, Erkennung nicht belegbarer Aussagen) sowie (c) ein „Human-in-the-loop"-Prozess vorgesehen, bei dem Fachredaktion und Projektteam Antworten prüfen und Korrekturen in die Wissensbasis zurückspielen. Aktualisierungen sollen über ein versionsbasiertes Content-Management organisiert werden, um nachvollziehbar zu halten, welcher Wissensstand genutzt wurde.

2.4 Evaluation und Pilotierung

In praxisnahen Tests mit Coworking-Space-Betreibenden werden Nutzbarkeit (Usability), Verständlichkeit, wahrgenommene Nützlichkeit, Vertrauen in Antworten und Relevanz der Inhalte erhoben. Zusätzlich werden typische Suchpfade und Fehlertypen dokumentiert (z. B. nicht beantwortbare Fragen, fehlende Quellenangaben) unter Berücksichtigung von Datenschutz-Aspekten. Die Evaluation ist iterativ angelegt: Rückmeldungen fließen in Dialogpfade, Wissensbasis, Retrieval-Parameter und Sicherheitsregeln ein.

2.5 Praxistransfer, Betrieb und Pflege

Abschließend wird ein Betriebskonzept erstellt, das Rollen (Fachredaktion, Betrieb/IT, Datenschutz), Update-Prozesse, Monitoring-Kennzahlen (z. B. Anteil beantworteter Anfragen, Quote unzureichender Antworten, Nutzerzufriedenheit) sowie Anforderungen an Dokumentation und Kommunikation umfasst.

3. Diskussion

Coworking Spaces bringen arbeitswissenschaftliche Gestaltungsfragen in einen Kontext, in dem Arbeitsplätze häufig geteilt, variabel genutzt und nicht durch den Arbeitgebenden eingerichtet werden. Dennoch müssen Arbeitgebende weiterhin Gefährdungen beurteilen und Schutzmaßnahmen umsetzen (ArbSchG; BMJ). Ebenso gelten Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung beim Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten (ArbStättV; BMJ). Die DGUV Information 215-410 liefert hierfür konkrete Gestaltungskriterien, die auch auf Coworking-Arbeitsplätze übertragen werden können, sofern die jeweilige Nutzungssituation dies zulässt (DGUV, 2019).

Die DGUV-Bestandsaufnahme hebt hervor, dass insbesondere die begrenzte Gestaltungsmacht externer Arbeitgebende und die fehlende Transparenz über die Bedingungen im jeweils genutzten CWS die Gefährdungsbeurteilung erschweren (DGUV, 2022). Damit steigt die Bedeutung von Informations- und Kommunikationsangeboten, die schnell verfügbar, verständlich und anwendungsnah sind.

Ein Chatbot kann als Schnittstelle zwischen komplexen Regelwerken, Publikationen und konkreten Praxisfragen fungieren. Sein Mehrwert entsteht nicht primär durch

„neues“ Wissen, sondern durch Auffindbarkeit, Kontextualisierung und Dialogführung. Gerade in heterogenen Zielgruppen kann ein Chatbot verschiedene Antworttiefen anbieten (Kurzantwort + Begründung + Verweis auf Primärquelle) und so unterschiedliche Informationsbedarfe abdecken. Zugleich lässt sich in der Pilotierung systematisch erfassen, welche Fragen in der Praxis tatsächlich gestellt werden – ein Nutzen für die Weiterentwicklung der Präventionskommunikation.

Damit dies gelingt, ist die Kontrolle von Halluzinationen und Themenabweichungen entscheidend. RAG-Architekturen unterstützen die Rückführbarkeit, indem die Antwort auf abgerufenen Passagen basiert (Lewis et al., 2020). In der Praxis bleibt dennoch eine Restunsicherheit, sodass zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind: klare System- und Sicherheitsregeln, Ausschluss von externem Web-Wissen, Konfidenzschwellen mit Rückfragen, sowie ein kontinuierliches Monitoring.

Datenschutz und Informationssicherheit beeinflussen Akzeptanz und Betrieb wesentlich. Die DSGVO fordert u. a. Rechtmäßigkeit, Transparenz, Zweckbindung, Datenminimierung sowie Integrität und Vertraulichkeit (EU, 2016). Für das Vorhaben bedeutet dies: Testbetrieb in geschützter Umgebung, sparsame Erfassung von Nutzungsdaten, klare Aufbewahrungsfristen, rollenbasierte Zugriffe sowie transparente Kommunikation gegenüber den Testpersonen, welche Daten wofür genutzt werden.

Für den Praxistransfer ist zudem die Kommunikationsstrategie wichtig: Ein Chatbot wird als „neuer“ Kanal nur dann genutzt, wenn Zielgruppen seinen Nutzen verstehen und die Grenzen transparent sind. Daher sollten Antwortausgaben standardmäßig (1) die wichtigste Aussage, (2) die Begründung mit Quellenbezug und (3) einen Verweis auf die zugrundeliegende Publikation enthalten. Gleichzeitig ist ein Beschwerde- bzw. Feedbackkanal nötig, um Fehler schnell zu identifizieren. Solche Rückmeldungen können wiederum als Indikatoren dienen, wo ergänzende Präventionsmaterialien oder Klarstellungen in bestehenden Dokumenten erforderlich sind.

Als Limitation ist zu beachten, dass der Chatbot keine individuelle Rechts- oder Fachberatung ersetzt und nicht die betriebliche Verantwortung für Schutzmaßnahmen übernimmt. Für sicherheitskritische Themen sind daher Verweise auf zuständige Stellen und Eskalationspfade vorzusehen. Gleichzeitig zeigt das Vorhaben, wie Präventionswissen in KI-gestützte Dialogsysteme überführt werden kann. Perspektivisch sind Vergleichsstudien sinnvoll, die den Nutzen gegenüber klassischen Publikationsformaten (PDF/Web) anhand von Nutzungskennzahlen, Verständlichkeit und Umsetzungsgrad in der Praxis bewerten.

4. Literatur

BMJ – Bundesministerium der Justiz. (o. J.). Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG). https://www.gesetze-im-internet.de/arbschg/index.html#BJNR124610996BJNE000301308

BMJ – Bundesministerium der Justiz. (o. J.). Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV). https://www.gesetze-im-internet.de/arbst_ttv_2004/

DGUV – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (2019). DGUV Information 215-410: Bildschirm- und Büroarbeitsplätze – Leitfaden für die Gestaltung. https://www.bghm.de/fileadmin/user_upload/Arbeitsschuetzer/Gesetze_Vorschriften/Informationen/215-410.pdf

DGUV – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (2022). Sicherheit und Gesundheit in Coworking Spaces: Eine Bestandsaufnahme aus Sicht der Prävention (Ausgabe April 2022). https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/4427

DGUV – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (o. J.a). DGUV Forschung: Projekt-Nr. IFA0512 – Chatbot als alternativer Kommunikationskanal für Coworking-Spaces-Informationen.

EU – Europäische Union. (2016). Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 (Datenschutz-Grundverordnung). EUR-Lex. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj/deu

Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W.-t., Rocktäschel, T., Riedel, S., & Kiela, D. (2020). Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). https://arxiv.org/abs/2005.11401

Transparenzerklärung zur Nutzung von KI: Für die Erstellung dieses Beitrags wurde ein generatives Sprachmodell (ChatGPT) als Schreib- und Strukturhilfe eingesetzt. Die inhaltliche Verantwortung, Auswahl der Aussagen sowie die Endredaktion lagen bei den Autor*innen.

Leitfaden für den Einsatz von Virtual Reality in Kombination mit Prozesssimulationen zur kollaborativen Arbeitsgestaltung

David FETTER[1], Robert HALWAß[1], Michael SPITZHIRN[2], Tim MIELKE[1]

[1] Fachbereich VIII: Maschinenbau - Berliner Hochschule für Technik (BHT)
Luxemburger Straße 10, D-13353 Berlin
[2] imk Industrial Intelligence, Amselgrund 30, D-09128 Chemnitz

Kurzfassung: Dieser Beitrag untersucht den Einsatz immersiver Technologien für kollaborative Planungsaufgaben. Ziel ist die systematische Auswahl geeigneter VR-Technologien in Kombination mit Prozesssimulationen. In einer empirischen Studie bearbeiteten Probanden kollaborativ zu zweit definierte Aufgaben (Entdeckungs-, Platzierungs- Montage- & Optimierungsaufgaben) in randomisierter Reihenfolge mit dem Prozesssimulationstool ema Work Designer (1) in bidirektionaler Kopplung mit VR-Brille sowie (2) direkt in der CAVE. Dabei wurden objektive und subjektive Kennzahlen sowie ergonomische und kognitive Aspekte erfasst. Die Ergebnisse zeigen systemspezifische Stärken und Grenzen und verdeutlichen die Notwendigkeit eines aufgabenabhängigen Technologieeinsatzes. Darauf aufbauend werden Empfehlungen für virtuelle Workshops abgeleitet.

Schlüsselwörter: Kognitive Belastung, Immersive Evaluation, Nutzungsszenarien, CAVE, VR-Systeme, Prozesssimulation

1. Einleitung

Workshops zur virtuellen Planung unterstützen effektiv Planungs-, Bewertungs- und Gestaltungsprozesse (Bracht & Schlegel 2018; Getuli et al. 2020). In der Arbeits- und Fabrikplanung ermöglichen sie die immersive Darstellung geplanter Arbeitssysteme, fördern die interdisziplinäre Stakeholder-Partizipation und erlauben eine frühe Diskussion von Gestaltungsideen (Menck et al. 2012). Zur Umsetzung solcher virtuellen Workshops dienen Systeme wie CAVE oder VR-Headsets. Allerdings besteht oft Unsicherheit, welche Technologien sich hinsichtlich Handhabung und Belastung für spezifische Aufgaben eignen, da eine strukturierte Entscheidungshilfe fehlt (Cruz-Neira et al. 1993, Berg & Vance 2017). Dieser Beitrag vergleicht daher VR-Headsets, PC- und CAVE-Systeme unter Nutzung des Tools ema Work Designer. Ziel ist die Entwicklung eines Leitfadens, der Anwender bei der Auswahl geeigneter Technologien für virtuelle Workshops unterstützt.

2. Stand der Technik

2.1 Virtuelle Workshop-Systeme

Workshops zur virtuellen Planung, die immersive Medien zur Visualisierung von Modellen verwenden, nutzen verschiedene Systeme, wie PC, CAVE und VR-Headsets, die jeweils spezifische Stärken und Einschränkungen aufweisen (Dörner et

al. 2019; VDI 3633-11 2020). CAVE-Systeme eigen sich durch ihre raumfüllende Darstellung ideal für kollaborative Diskussionen und intuitive Kommunikation (Schenk et al. 2014). Nachteile sind hohe Infrastrukturkosten und die geringere individuelle Immersion (Manjrekar et al. 2014). VR-Headsets bieten hohe individuelle Immersion und sind optimal für Detailanalysen von z. B. Abläufen (Berg & Vance 2017). Sie zeigen jedoch Einschränkungen in direkter Kommunikation und Ergonomie (Dörner et al. 2019; VDI 3633-11 2020). Die Wahl des geeigneten Systems ist daher abhängig von den spezifischen Aufgaben und Zielen des Workshops (Schenk et al. 2014).

2.2 Prozesssimulationen mit digitalen Menschmodellen

Software-Tools mit digitalen Menschmodellen (DMM) wie ema Work Designer (emaWD) oder Process Simulation ermöglichen eine frühzeitige Planung und Gestaltung menschlicher Arbeit nach ergonomischen und wirtschaftlichen Kriterien (Spitzhirn et al. 2022). Zur Analyse kommen etablierte arbeitswissenschaftliche Verfahren wie Normzeitermittlungen nach MTM sowie ergonomische Bewertungen, wie Sicht- und Erreichbarkeitsanalysen, EAWS- und NIOSH-Verfahren, zum Einsatz. Eine zusätzliche Unterstützung bietet die Kopplung von DMM mit Virtual-Reality-Systemen, etwa CAVEs oder VR-Headsets, durch die Gestaltungsvarianten immersiv erlebbar gemacht und ergonomische Bewertungen vertieft werden können (Berg & Vance 2017; Spitzhirn et al. 2025). Ergänzend erlaubt der Einsatz von Motion-Capturing die Erfassung realer Bewegungsabläufe aus Arbeitsprozessen oder VR-Szenarien, die in DMM-basierten Tools bzgl. ergonomischer Belastungen und zeitlicher Aspekte analysiert werden können (Yin & Li, 2022).

3. Versuchsdesign Aufgabenbasierter Vergleich der Systeme

3.1 Untersuchungsdesign

Das Untersuchungsdesign folgt einem aufgabenorientierten Vergleich virtueller Workshop-Technologien. Die Versuchspersonen (VPs) bearbeiteten zentrale Aufgaben der Arbeits- und Fabrikplanung, darunter Orientierung, Materialplatzierung, Montage, ergonomische Bewertung und Layoutoptimierung, kollaborativ zu zweit in randomisierter Reihenfolge mit dem Prozesssimulationstool ema Work Designer (1) in bidirektionaler Kopplung mit VR-Brille [1: VR- und PC] sowie (2) direkt in der CAVE [CAVE]. Somit sitzt in (1) eine VP direkt am PC und bearbeitet mit emaWD die Aufgabe, während VP2 mit der VR-Brille direkt im gleichen Szenario interagieren kann. In (2) sind die beiden VPs direkt in der Cave, wobei nur das Szenario aus emaWD in die CAVE überspielt wird und keine weiteren direkten Interaktionen aktuell vorhanden sind. Die Bearbeitung erfolgte dabei kollaborativ, die individuelle und kooperative Arbeitsweisen abgebildet wurden.

3.2 Aufbau der virtuellen Szene und Prozesssimulation

Die virtuelle Szene bildet eine vereinfachte Montage und Materialbereitstellung für Getriebe ab. Sie umfasst einen Arbeitsbereich mit zentraler Startposition und enthält alle für den Montageprozess relevanten Funktionsbereiche. Zwei Montagetische sind einander gegenüberliegend angeordnet und bilden den zentralen Montagebereich. Ergänzend sind Lagerbereiche sowie eine separate Arbeitsstation vorhanden. Die

räumliche Anordnung der Elemente folgt einem vereinfachten innerbetrieblichen Materialfluss und ermöglicht freie Bewegungen innerhalb der Umgebung (vgl. Abb. 1).

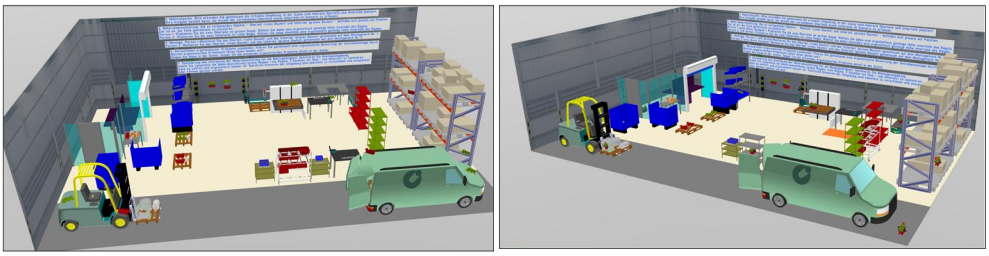


***Abbildung 1**: Aufbau der Szenen mit geringfügigen Unterschieden. (li. CAVE, re. VR & PC).*

Die Umgebung unterscheiden sich bzgl. der aufgabenorientierten Elemente für die Entdeckeraufgabe. So wurden in der CAVE-Umgebung Getriebeober- und Getriebeunterteile genutzt, während in der VR- und PC-basierten Anwendung montierte Getriebe im Szenenraum versteckt sind. Die positionsvariable Anordnung schränkt die direkte Übertragbarkeit von Lösungsstrategien zwischen den Szenen ein. Die Aufgabenstellungen sind als Textelemente in der virtuellen Umgebung integriert und jederzeit sichtbar.

3.3. Eingesetzte Methoden und Auswertungen

Die empirische Untersuchung kombinierte einen aufgabenbasierten Vergleich in virtuellen Umgebungen (PC, VR-Headsets, CAVE) mit subjektiven Befragungen. Als einheitliche Basis diente eine mit emaWD erstellte Montagesimulation, in der Probanden interaktiv und kollaborativ Aufgaben lösten. Die Evaluation basierte auf der Erhebung objektiver Daten, wie Anzahl entdeckter Teile, Bearbeitungszeiten für Platzier- und Montagetätigkeiten. Anschließend erfasste ein Fragebogen nach dem UTAUT-Modell die subjektive Wahrnehmung hinsichtlich Handhabung, Belastung und Präferenzen (Harborth & Pape, 2018). Zusätzlich wurden subjektiv empfundene ergonomische, körperliche und kognitive Belastungen erfasst. Die Auswertung erfolgte mittels linearer gemischter Modelle mit dem System als festen Effekt und der Reihenfolge als Kontrollfaktor. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0{,}05$ festgelegt.

4. Ergebnisse des Systemvergleichs

4.1 Beschreibung Probanden

Die Gruppe der VPs umfasste insgesamt 65 Personen. Von den VPs sind 5 weiblich (7,7%) und 60 (92,3%) männlich. Das Durchschnittsalter der Probanden lag bei 23,9 Jahren ± SD 8,3 Jahren. Die VPs stammen aus den Studiengängen Maschinenbau Bachelor (21,5%), Wirtschaftsing. – Maschinenbau Bachelor (69,3%) und sonstige (9,2%). Für die Studienteilnahme gab es keine Ausschlusskriterien.

4.2 Wahrnehmung, Verständlichkeit und Handhabung

Zur Bewertung der Wahrnehmung, Verständlichkeit und Handhabung der untersuchten Systeme wurden die Dimensionen Präsenzgefühl, räumliche Orientierung und Systemverständlichkeit analysiert. Für das wahrgenommene

Präsenzgefühl zeigte sich ein signifikanter Systemeffekt ($F = 3,95$; $p = 0,023$). Die VR-Brille (emaVR) erzielte höhere Präsenzwerte als die CAVE und der emaWD am PC. Ein Einfluss der Bearbeitungsreihenfolge konnte nicht festgestellt werden. Auch bzgl. der Systemverständlichkeit und Handhabung ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Systemen ($F = 11,95$; $p < 0,001$). Für die räumliche Orientierung zeigte sich ein signifikanter Systemeffekt ($F = 10,54$; $p < 0,001$). Das VR-Headset unterstützte die Erfassung der räumlichen Struktur der virtuellen Szene am stärksten, während die Orientierung in der CAVE als herausfordernder wahrgenommen wurde. Auch hier traten keine Reihenfolgeeffekte auf. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass immersive VR-Systeme im Vergleich zu PC-Anwendungen Vorteile in der Wahrnehmung, Verständlichkeit und räumlicher Orientierung bieten und damit eine geeignete Grundlage für kollaborative Planungsaufgaben darstellen.

4.3 Zeitliche und aufgabenbezogene Unterschiede

Die zeitlichen und aufgabenbezogenen Unterschiede zwischen den Systemen wurden anhand einer zeitlich begrenzten Suchaufgabe, einer Platzierungs- sowie eines Montageaufgabe analysiert. Für die Suchaufgabe, bei der innerhalb einer fest vorgegebenen Bearbeitungszeit von zwei Minuten relevante Objekte identifiziert werden sollten, zeigte sich ein signifikanter Systemeffekt ($F = 86,81$; $p < 0,001$). Die VR-Headsets (emaVR) und PC-Anwendung ermöglichten dabei die höchste Anzahl identifizierter Objekte mit durchschnittlich 93,85 %, während in der CAVE mit durchschnittlich 70,36 % eine deutlich geringe Anzahl auffindbar waren. Auch für die Bearbeitungszeit der Manipulationsaufgabe, bei der Objekte von einer Palette in ein Regalsystem neu platziert wurden, ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Systemen ($F = 12,07$; $p < 0,001$). Die kürzesten Bearbeitungszeiten wurden beim ema Work Designer mit durchschnittlich 106,45 Sekunden erreicht, während die CAVE den höchsten Zeitaufwand mit durchschnittlich 120,41 Sekunden erforderte. Die VR-Headset lag zeitlich zwischen beiden Systemen. Für den Montagevorgang, bei dem Getriebeober- und Getriebeunterteil in einer montagerelevanten Position angeordnet wurden, zeigten sich hingegen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Systemen ($F = 038$; $p = 0,685$). Die Bearbeitungszeiten lagen auf vergleichbarem Niveau, sodass für diese Aufgabe kein systembedingter Einfluss nachgewiesen werden konnte. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass immersive VR-Systeme insbesondere bei visuell-explorativen Aufgaben Vorteile bieten, während PC-basierte Systeme bei strukturierten Manipulationsaufgaben zeitlich effizienter unterstützen. Montagebezogene Tätigkeiten erwiesen sich als weitgehend unabhängig von der eingesetzten Darstellungsform.

4.4 Ergonomische und kognitive Aspekte der Zusammenarbeit

Zur Bewertung ergonomischer und kognitiver Aspekte wurden auf Grundlage der Fragebogendaten die Dimensionen kognitive Beanspruchung, physische Beanspruchung, ergonomische Analysefähigkeit, Zusammenarbeit sowie prozessuale Unterstützung untersucht. Die ergonomische Analysefähigkeit wurde dabei über subjektive Einschätzungen der Probanden erfasst, insbesondere in Bezug auf die Erkennbarkeit ergonomischer Probleme, die Nachvollziehbarkeit der Bewertung sowie die Kommunizierbarkeit der Ergebnisse. Die Auswertung erfolgte ebenfalls mittels linearer gemischter Modelle mit dem System als festem Effekt und der Reihenfolge als Kontrollfaktor. Geprüft wurde jeweils die Nullhypothese, dass keine systembedingten

Unterschiede zwischen den untersuchten Systemen bestehen. Für die kognitive und physische Beanspruchung zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Systemen. Der emaWD wies geringere Beanspruchungswerte auf als die CAVE, während die VR-Headsets (emaVR) zwischen beiden Systemen lag. Für die ergonomische Analysefähigkeit sowie die Zusammenarbeit ergaben sich keine signifikanten Systemunterschiede, sodass die Nullhypothese in diesen Fällen beibehalten wurde. Hingegen zeigte sich für die prozessuale Unterstützung ein signifikanter Systemeffekt zugunsten der VR-Headsets (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: *Dimensionen mit signifikanter Bewertung.*

Dimension	System mit Vorteil	Signifikanz
Kognitive Beanspruchung	ema Work Designer	p = 0,013 (signifikant)
Physische Beanspruchung	ema Work Designer	p = 0,034 (signifikant)
Ergonomische Analysefähigkeit	–	p = 0,654 (nicht signifikant)
Zusammenarbeit	–	p = 0,799 (nicht signifikant)
Prozessunterstützung	VR-Headset (emaVR)	p = 0,015 (signifikant)

5. Diskussion Systemvergleichs

Die Studie untersuchte unterschiedliche VR- und PC-Systeme für kollaborative Planungsaufgaben mit überwiegend technisch affinen Probanden. Die Ergebnisse zeigen Vorteile immersiver Systeme hinsichtlich Wahrnehmung und räumlicher Orientierung. Insbesondere VR-Headsets erreichten höhere Werte der Präsenzwahrnehmung und Orientierung. VR-Headsets ermöglichten das beste Verständnis räumlicher Zusammenhänge. Die CAVE bot eine großformatige Darstellung, konnte diese Vorteile jedoch aufgrund eingeschränkter Interaktionsmöglichkeiten nur teilweise ausspielen. Bei den zeitlichen und aufgabenbezogenen Unterschieden zeigte sich ein differenziertes Bild. In der zeitlich begrenzten Suchaufgabe wurden mit dem VR-Headset im Mittel 23,5 % mehr Objekte identifiziert als bei der PC-Anwendung. Demgegenüber erwies sich die PC-Anwendung bei der Manipulationsaufgabe als effizienter. Die Bearbeitung mit dem VR-Headset war mit einem um 14,9 % höheren Zeitaufwand verbunden. Für montagebezogene Aufgaben ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Systemen. Hinsichtlich ergonomischer und kognitiver Aspekte zeigte die weniger immersive PC-Anwendung geringere Beanspruchungswerte, während die VR-Headsets Vorteile bei prozessorientierten und kollaborativen Tätigkeiten aufwies. Ergonomische Analysefähigkeit und Zusammenarbeit wurden systemübergreifend vergleichbar bewertet. Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse die Notwendigkeit einer aufgabenabhängigen Auswahl der Technologien. Immersive VR-Systeme eignen sich insbesondere für explorative und suchbasierte Aufgaben, während bildschirmbasierte Systeme bei strukturierten Manipulationstätigkeiten Vorteile bieten. Die CAVE ist insbesondere für gemeinsame Betrachtungs- und Diskussionssituationen geeignet. Die Ergebnisse bestätigen damit den Nutzen eines kombinierten Einsatzes unterschiedlicher Systeme für die kollaborative Arbeitsgestaltung.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag untersuchte die Eignung unterschiedlicher VR- und PC-basierter Systeme für kollaborative Planungsaufgaben. Die Ergebnisse zeigen, dass kein einzelnes System alle Anforderungen gleichermaßen erfüllt und sich die Technologien vielmehr komplementär ergänzen. Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht empfiehlt sich daher ein aufgabenabhängiger Einsatz der Systeme: Immersive VR-Anwendungen eignen sich insbesondere für frühe, explorative und kommunikative Planungsphasen, während bildschirmbasierte Systeme bei analytischen und zeitkritischen Tätigkeiten Vorteile bieten. Für montagebezogene Aufgaben erwiesen sich alle untersuchten Systeme als vergleichbar geeignet. Zukünftige Arbeiten sollten den kombinierten Einsatz hybrider Nutzungskonzepte weiter untersuchen, um die jeweiligen Stärken der Technologien gezielt zu verbinden. Darüber hinaus bieten realitätsnähere Anwendungsszenarien, heterogenere Nutzergruppen sowie Weiterentwicklungen im Bereich Interaktion und Ergonomie Ansatzpunkte für weiterführende Forschung.

7. Literatur

Berg LP, Vance JM (2017). Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey. Virtual Reality 21:1–17.

Bracht U, Schlegel M (2018). AR- und VR-Brillen in der Fabrikplanung*/Current AR- and VR-glasses in factory planning. wt 108:251–256.

Cruz-Neira C, Sandin DJ, DeFanti TA (1993). Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE. In: Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. ACM, Anaheim CA, pp 135–142

Dörner R, Broll W, Grimm P, Jung B (eds) (2013). Virtual und Augmented Reality (VR / AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg

Getuli V, Capone P, Bruttini A, Isaac S (2020). BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach. Automation in Construction 114:103160.

Harborth D, Pape S (2018) German Translation of the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology 2 (UTAUT2) Questionnaire. SSRN Journal.

Lawson G, Salanitri D, Waterfield B (2016). Future directions for the development of virtual reality within an automotive manufacturer. Applied Ergonomics 53:323–330.

Manjrekar S, Sandilya S, Bhosale D, et al (2014). CAVE: An Emerging Immersive Technology -- A Review. In: 2014 UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation. IEEE, Cambridge, United Kingdom, pp 131–136

Menck N, Yang X, Weidig C, et al (2012). Collaborative Factory Planning in Virtual Reality. Procedia CIRP 3:317–322.

Schenk M, Wirth S, Müller E (2014). Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik, 2., vollst. überarb. u. erw. Aufl. 2014. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg

Spitzhirn M, Ullmann S, Fritzsche L (2022). Considering individual abilities and age-related changes in digital production planning – human centred design of industrial work tasks with ema software. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 76:459-477. https://doi.org/10.1007/s41449-022-00343-5

Spitzhirn M, Halim J, Bdiwi M, Keller N, Hesse A (2025). Kollaborative Planung und Simulation von Mensch-Roboter-Interaktionen: Am Beispiel der Brennstoffzellen-Montage. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 120:(6), 426-434.

VDI (2020) VDI-Richtlinie 3633 Blatt 11: Simulation von Systemen der Fördertechnik, Logistik und Produktion – Prozessanalyse und Vorbereitung von Simulationsprojekten. Beuth, Berlin

Yin M-Y, Li J-G (2023). A systematic review on digital human models in assembly process planning. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 125:1037–1059

Von der Werkbank in die Datenbank: Ansätze zur Externalisierung von Erfahrungswissen in industriellen KMU im Kontext humanoider Robotik

Martin GERTEN[1], Michael HOFFMANN[1], Alexander MERTENS[2]

[1] Labor für Digitale Produktentwicklung und Fertigung, Hochschule Trier
Schneidershof 1, D-54293 Trier
[2] Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen
Eilfschornsteinstr. 18, D-52062 Aachen

Kurzfassung: Der demografische Wandel und der zunehmende Fachkräftemangel erhöhen insbesondere in industriellen kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) das Risiko eines nachhaltigen Verlusts erfahrungsbasierten Wissens. Gleichzeitig eröffnen Fortschritte in der humanoiden Robotik neue Perspektiven für die Automatisierung manueller Arbeitsprozesse. Eine Voraussetzung hierfür ist jedoch die systematische Externalisierung von implizitem und stillschweigendem Wissen. Ziel dieses Beitrags ist es, den Stand der Forschung zur Externalisierung von Erfahrungswissen im industriellen Kontext zu analysieren und hinsichtlich seiner Eignung für modellbasierte Automatisierung einzuordnen. Hierzu wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt, deren Ergebnisse entlang eines zweidimensionalen Ordnungsrahmens analysiert wurden. Die Ergebnisse liefern Ansatzpunkte zur Schaffung eines konzeptionellen Prozesses zur Externalisierung von Erfahrungswissen in KMU.

Schlüsselwörter: Erfahrungswissen, Wissensexternalisierung, KMU, humanoide Robotik, Künstliche Intelligenz, PRISMA

1. Einleitung und Motivation

Der Erhalt und die Nutzbarmachung von Erfahrungswissen stellen zentrale Voraussetzungen für die Leistungsfähigkeit industrieller Wertschöpfung dar (Polanyi, 1966; Nonaka & Takeuchi, 1995). Insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) ist wettbewerbsrelevantes Wissen häufig stark personen- und erfahrungsgebunden, sodass der Wegfall einzelner Fachkräfte zu disproportionalen Kompetenz- und Produktivitätseinbußen führen kann (Argote, 1999; Durst & Wilhelm, 2012). Vor dem Hintergrund des demografischen Wandels und des damit einhergehenden Ausscheidens der Babyboomer-Generation aus dem Erwerbsleben verschärft sich dieses Risiko und erzeugt einen dringlichen Handlungsbedarf, Erfahrungswissen systematisch zu externalisieren, zu strukturieren und langfristig verfügbar zu machen (DeLong, 2004; North, 2018). Gleichzeitig verändert der technologische Fortschritt die Möglichkeiten der Wissensnutzung substanziell. Während generative KI-Systeme zunehmend geeignet sind, explizit repräsentiertes Wissen zu verarbeiten (Russell & Norvig, 2021), eröffnet humanoide Robotik aufgrund anthropometrischer Ähnlichkeit und natürlicher Interaktionsformen eine Perspektive, handlungsgebundenes, Erfahrungswissen nicht nur abzubilden, sondern in robotische

Systeme in bestehenden industriellen Umgebungen zu übertragen (Dautenhahn, 2007; Sheridan, 2016). Ziel des vorliegenden Beitrags ist daher eine systematische Erfassung und Einordnung des aktuellen Forschungsstands zu Methoden der Wissensexternalisierung im industriellen Kontext unter besonderer Berücksichtigung der Umsetzbarkeit in realen KMU-Umgebungen sowie der Anschlussfähigkeit an Anwendungen der humanoiden Robotik.

2. Systematische Literaturrecherche (SLR)

Um den Stand der Forschung zur Externalisierung von implizitem und stillschweigendem Wissen im industriellen Kontext zu erfassen wurde eine SLR durchgeführt, die sich methodisch an den PRISMA-Leitlinien orientiert (Page et al., 2021). Die Details der SLR können Abbildung 1 entnommen werden. Die Suchstrategie kombinierte drei semantische Komponenten:

(1) die Wissensform (implizit bzw. stillschweigend),
(2) den Anwendungskontext (Industrie bzw. KMU) sowie
(3) die intendierte Operation im Umgang mit dem Wissen (z. B. Extraktion, Externalisierung, Speicherung).

Die 869 Beiträge wurden mit dem Ziel untersucht Ansatzpunkte zur Externalisierung von Erfahrungswissen im Kontext humanoider Robotik in KMU zu gewinnen.

Ein Beitrag wurde als geeignet betrachtet, wenn er:

- Einen der Externalisierung zuzuordnenden Prozess beschreibt
- Erfahrungswissen behandelt
- Manuelle Arbeit beschreibt
- In den Kontext eines industriellen KMU passt oder zumindest dorthin übertragbar ist

Die Untersuchung wurde von einer Person durchgeführt. 9 Beiträge erfüllten die Kriterien und wurden weiter untersucht.

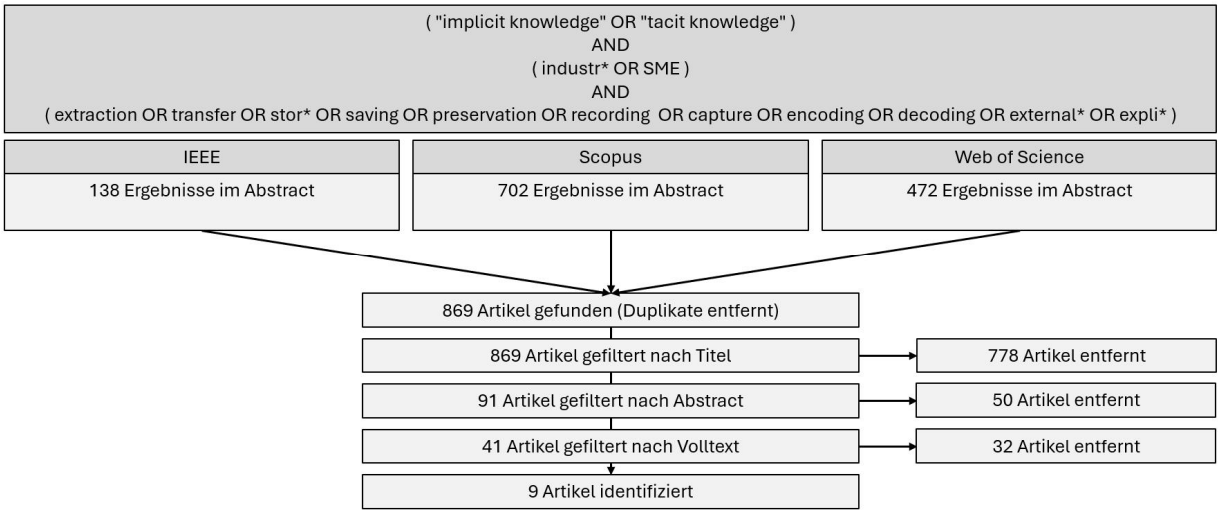


Abbildung 1: *Detaillierter Suchprozess der durchgeführten SLR.*

Tabelle 1: *Liste der mithilfe der SLR identifizierten Beiträge.*

#	Kurzlabel	Vollständiger Titel	Jahr	Autor:innen
1	**Decentralized Knowledge Graph Aggregation**	Knowledge Extraction via Decentralized Knowledge Graph Aggregation	2021	Nordsieck, R.; Heider, M.; Winschel, A.; Hähner, J.
2	**Capturing Surface Finishing Knowledge for Robot Programming**	A method for capturing the tacit knowledge in the surface finishing skill by demonstration for programming a robot	2014	Ng, C. W. X.; Chan, ; K. H. K.; Teo, W. K.; Chen, I.-M.
3	**From Tacit to Explicit**	From Tacit to Explicit: Using Live Documentation and Feedback Loops to Facilitate Knowledge Transfer	2025	Stürzebecher, P.; Bayrhammer, E.; Brauckmann, N.
4	**Reinforcement Learning Control Method**	A Reinforcement Learning Control Method for Process Industry Based on Implicit and Explicit Knowledge Extraction and Embedding	2025	Liu, T.; Yang, C.; Zhou, C.; Li, Y.; Sun, B.
5	**Interview-Based Method for Extracting Knowledge**	An Interview-Based Method for Extracting Knowledge of Skilled Workers at Construction Sites Using Photographs and Deep Learning	2020	Yashiro, Y.; Ueda, R.; Hatori, F.; Yabuki, N.
6	**Extraction of tacit knowledge**	Extraction of tacit knowledge as expert engineer's skill based on mixed human sensing	2011	Hashimoto, H.; Yoshida, I.; Teramoto, Y.; Tabata, H.; Han, C.
7	**Externalising and Reusing Tacit Knowledge**	Externalising and reusing of tacit knowledge in manufacturing task	2017	Titah, M.; Aitouche, S.; Mohamed, D.M.; Soussa, A.
8	**Making Implicit Knowledge Explicit (Mental Models)**	Making implicit knowledge explicit – Acquisition of plant staff mental models as a basis for developing a decision support system	2017	Pantförder, D.; Schaupp, J.; Vogel Heuser, B.
9	**Using Tacit Expert Knowledge to Support Shop-floor Operators**	Using Tacit Expert Knowledge to Support Shop-floor Operators Through a Knowledge-based Assistance System	2022	Hoerner, L.; Schamberger, M.; Bodendorf, F.

3. Bisherige Ansätze zur Externalisierung von Erfahrungswissen im Kontext humanoider Robotik in KMU

Die nachfolgende Einordnung stellt eine eigenständige analytische Systematisierung dar, die bestehende Arbeiten nicht primär methodisch, sondern entlang ihrer funktionalen Zielsetzung und ihres Abstraktionsgrads einordnet. Die Einordnung der identifizierten Arbeiten erfolgte entlang zweier analytischer Dimensionen (Abbildung 2): Explizit machen und Automatisieren (Zielsetzung der Externalisierung in Bezug auf Nutzbarkeit) sowie Erfassen und Modellieren (Abstraktionsgrad der Wissensrepräsentation). *Erfassen* bezeichnet die Aufnahme beobachtbarer Manifestationen von Erfahrungswissen, ohne sie formal zu strukturieren (Davenport & Prusak, 1998), während *Modellieren* die formale Abstraktion dieses Wissens in strukturierter, generalisierbarer Form beschreibt (Schreiber et al., 2000). Die Dimension *Explizit machen* zielt auf kommunikative Zugänglichkeit (Nonaka & Takeuchi, 1995), wohingegen *Automatisieren* auf die Ableitung technischer Ausführungs- und Entscheidungsstrukturen gerichtet ist (Parasuraman et al., 2000).

Der daraus abgeleitete Zielquadrant (Automatisieren x Modellieren) adressiert die Externalisierung von Erfahrungswissen mit dem Ziel, dieses in formalisierte Modelle zu überführen, die als Grundlage automatisierter Arbeitsprozesse dienen. Im Kontext humanoider Robotik ist diese Kombination konzeptionell zwingend, da nur modellierte Repräsentationen eine Entkopplung des Wissens von der konkreten Ausführungssituation erlauben und damit die Übertragung auf abgewandelte Situationen, Werkstücke oder Umgebungsbedingungen ermöglichen. Der Quadrant Automatisieren x Erfassen bleibt in der analysierten Literatur leer. Diese Leerstelle ist jedoch keine Forschungslücke, sondern Ausdruck einer konzeptionellen Notwendigkeit: Automatisierung setzt formalisierte Repräsentationen voraus; die

bloße Erfassung von Erfahrungswissen ohne modellhafte Abstraktion erlaubt keine technische Weiterverarbeitung oder Generalisierung und ist daher für die vorliegende Fragestellung nicht sinnvoll.

Innerhalb des Zielquadranten konnte lediglich eine einschlägige Publikation identifiziert werden. Die Arbeit 2 verfolgt einen wirkungsorientierten Ansatz zur Externalisierung manueller Fertigkeiten in der industriellen Oberflächenbearbeitung. Anstatt menschliche Bewegungen direkt zu imitieren, wird die physische Wirkung der Handlung auf das Werkstück modelliert. Die Stärke dieses Ansatzes liegt in der Abstraktion von individuellen Ausführungsstrategien hin zu einem funktionalen Wirkmodell. Dadurch wird eine Grundlage für Automatisierung geschaffen, die nicht an einzelne Demonstrationen gebunden ist (Ng et al., 2014).

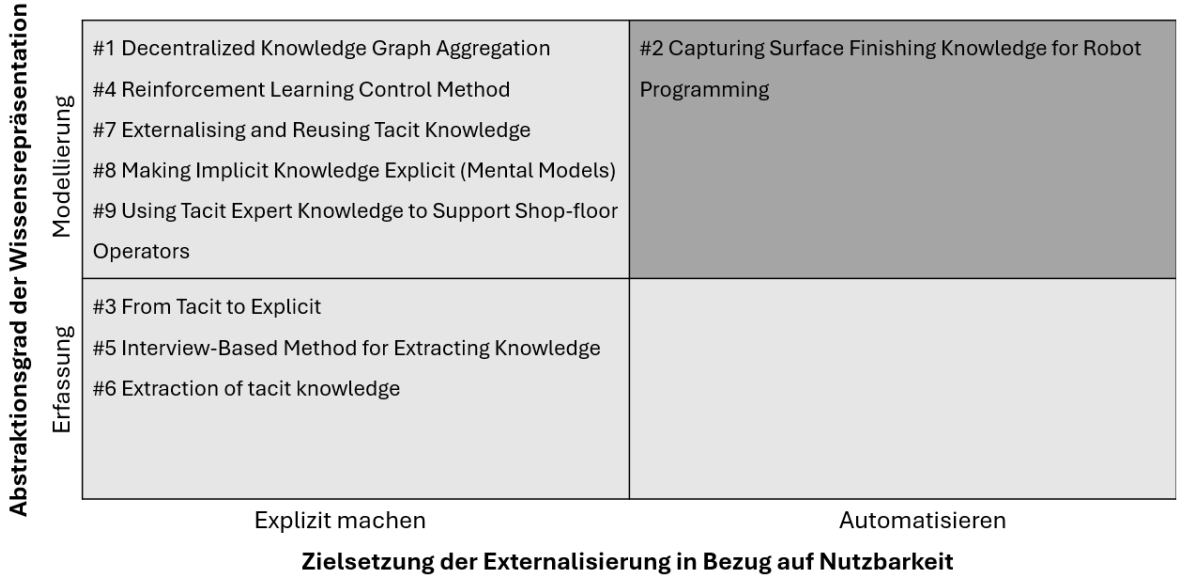


Abbildung 2: *Zuweisung der identifizierten Beiträge in den Ordnungsrahmen.*

4. Limitationen und Hypothesen zur weiteren Untersuchung

Der Stand der Forschung lässt sich aus der SLR wie folgt zusammenfassen:
Es ist bereits beispielhaft erforscht, wie industrielles Erfahrungswissen einer spezifischen manuellen Tätigkeit externalisiert und modelliert werden kann, um zur Automatisierung des identischen Arbeitsprozesses genutzt zu werden.

Mit Blick auf die Schaffung einer Methode zur Externalisierung von Erfahrungswissen im Kontext humanoider Robotik in KMU ergeben sich daraus einige Limitationen. Diese Limitationen werden in Form von Hypothesen ausgearbeitet, um eine Grundlage zur weiteren Untersuchung zu bieten.

Limitation 1: Fehlende Kontextualisierung des Erfahrungswissens
Bestehende Ansätze zur Externalisierung von Erfahrungswissen fokussieren häufig auf isolierte physische Bewegungsabläufe oder Prozessparameter. Erfahrungswissen entsteht jedoch aus der situativen Interaktion des Akteurs mit einer dynamischen Umwelt und ist damit kontextabhängig (Polanyi, 1966; Dreyfus, 2002). Klassische Prozess- oder Wirkmodelle erfassen diese Kontextanteile nicht hinreichend, wodurch wesentliche Bestandteile des Erfahrungswissens unberücksichtigt bleiben.

Hypothese 1:
World Models ermöglichen eine kontextualisierte Externalisierung von

Erfahrungswissen, indem sie Wahrnehmung, Handlungsmöglichkeiten und Umweltzustände integriert repräsentieren.

Limitation 2: Fehlende operative Nutzbarkeit des externalisierten Wissens

Externalisiertes Erfahrungswissen bleibt in vielen Arbeiten auf einer beschreibenden oder repräsentativen Ebene und wird primär zur Reproduktion vorgegebener Handlungen genutzt. Nicht adressiert wird, wie dieses Wissen zur situationsabhängigen Entscheidungsfindung und reaktiven Anpassung eingesetzt werden kann. Erfahrungswissen ist jedoch wesentlich handlungsleitend organisiert und entfaltet seinen Nutzen erst in der Auswahl und Modifikation von Handlungen (Polanyi, 1966; Dreyfus, 2002).

Hypothese 2:

Die Ableitung von Verhaltensstrategien ist notwendig, um externalisiertes Erfahrungswissen in Entscheidungs- und Reaktionsfähigkeit zu überführen und adaptive Automatisierung zu ermöglichen.

Limitation 3: Eingeschränkte Übertragbarkeit auf neue Situationen

Ein weiteres Defizit besteht in der geringen Übertragbarkeit externalisierten Erfahrungswissens auf abgewandelte Situationen. Modellierte Handlungen bleiben häufig an spezifische Ausführungskontexte gebunden. Zwar zeigen Arbeiten aus der Robotik das Potenzial von World Models zur situationsabhängigen Interpretation (Ha & Schmidhuber, 2018; Hafner et al., 2020) sowie von Verhaltensstrategien zur adaptiven Handlungsauswahl (Sutton & Barto, 2018), beide Konzepte werden jedoch in der betrachteten Literatur nicht systematisch miteinander verknüpft.

Hypothese 3:

Die Kombination aus World Models und Verhaltensstrategien ermöglicht die Übertragung von Erfahrungswissen von einer konkreten Arbeitssituation auf neue, abgewandelte Situationen.

Limitation 4: Vernachlässigung KMU-spezifischer Rahmenbedingungen

Über die technischen Fragestellungen hinaus berücksichtigen bestehende Ansätze organisatorische und ressourcenbezogene Rahmenbedingungen industrieller KMU bislang nur unzureichend. Begrenzte Datenverfügbarkeit, geringe Standardisierung und eingeschränkte Implementierungskapazitäten stellen jedoch zentrale Restriktionen für die praktische Anwendbarkeit dar.

Hypothese 4:

Die erfolgreiche Externalisierung von Erfahrungswissen in industriellen KMU erfordert Ansätze, die technische Modellierung explizit an organisatorische und ressourcenbezogene Rahmenbedingungen anpassen.

5. Diskussion und Fazit

Der vorliegende Beitrag analysiert systematisch den Forschungsstand zur Externalisierung von Erfahrungswissen im industriellen Kontext mit Fokus auf KMU und die Anschlussfähigkeit an humanoide Robotik. Die systematische Literaturrecherche zeigt, dass trotz zahlreicher Veröffentlichungen nur wenige Arbeiten existieren, die sowohl Erfahrungswissen als auch den Prozess der Wissensexternalisierung adressieren und zugleich auf industrielle KMU-Kontexte übertragbar sind. Die Einordnung entlang der Dimensionen *Erfassen vs. Modellieren* sowie E*xplizit machen vs. Automatisieren* verdeutlicht, dass der für humanoide Robotik zentrale Zielquadrant der modellbasierten Externalisierung mit Automatisierungsziel bislang kaum untersucht ist.

Zudem zeigt sich, dass bestehende Ansätze überwiegend auf die Reproduktion spezifischer Tätigkeiten abzielen und Erfahrungswissen auf isolierte Wirk- oder Prozessmodelle reduzieren, wodurch eine reaktive oder situationsübergreifende Nutzbarkeit nicht erreicht wird. Daraus wurden vier Hypothesen abgeleitet, die World Models und Verhaltensstrategien als notwendige Bausteine für eine ganzheitliche Repräsentation, adaptive Nutzung und generelle Übertragbarkeit von Erfahrungswissen identifizieren und die KMU-Besonderheiten betrachten.

Der Beitrag leistet damit eine konzeptionelle Strukturierung eines bislang fragmentierten Forschungsfeldes und schafft eine Grundlage für die weiterführende Entwicklung und empirische Untersuchung von Methoden zur Externalisierung von Erfahrungswissen im Kontext humanoider Robotik in KMU.

6. Literatur

Argall BD, Chernova S, Veloso M, Browning B (2009) A survey of robot learning from demonstration. Robotics and Autonomous Systems 57:469–483.

Argote L (1999) Organizational learning: Creating, retaining, and transferring knowledge. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Dautenhahn K (2007) Socially intelligent robots: Dimensions of human–robot interaction. Philosophical Transactions of the Royal Society B 362:679–704.

Davenport TH, Prusak L (1998) Working knowledge: How organizations manage what they know. Boston: Harvard Business School Press.

DeLong DW (2004) Lost knowledge: Confronting the threat of an aging workforce. New York: Oxford University Press.

Dreyfus HL (2002) Intelligence without representation: Merleau-Ponty and the future of cognitive science. In: Wrathall MA, Malpas J (Eds) Heidegger, coping, and cognitive science. Cambridge MA: MIT Press, 135–157.

Durst S, Wilhelm S (2012) Knowledge management in practice: Insights into a medium-sized enterprise's exposure to knowledge loss. Journal of Knowledge Management 16:85–103.

Ha D, Schmidhuber J (2018) World models. arXiv:1803.10122.

Hafner D, Lillicrap T, Norouzi M, Ba J (2020) Dream to control: Learning behaviors by latent imagination. In: Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR).

Ng CWX, Chan KHK, Teo WK, Chen IM (2014) A method for capturing the tacit knowledge in the surface finishing skill by demonstration for programming a robot. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). Hong Kong: IEEE, 1374–1379.

Nonaka I, Takeuchi H (1995) The knowledge-creating company. New York: Oxford University Press.

North K (2018) Wissensorientierte Unternehmensführung. 6. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler.

Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. (2021) The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ 372:n71.

Parasuraman R, Sheridan TB, Wickens CD (2000) A model for types and levels of human interaction with automation. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part A 30:286–297.

Polanyi M (1966) The tacit dimension. London: Routledge & Kegan Paul.

Russell SJ, Norvig P (2021) Artificial intelligence: A modern approach. 4th ed. Harlow: Pearson.

Schreiber G, Akkermans H, Anjewierden A, de Hoog R, Shadbolt N, van de Velde W, Wielinga B (2000) Knowledge engineering and management: The CommonKADS methodology. Cambridge MA: MIT Press.

Sheridan TB (2016) Human–robot interaction: Status and challenges. Human Factors 58:525–532.

Sutton RS, Barto AG (2018) Reinforcement learning: An introduction. 2nd ed. Cambridge MA: MIT Press.

Körpergröße und wahrgenommene Sicherheit in der Interaktion mit einem zoomorphen Roboter

Rebecca ERLEBACH, Sascha WISCHNIEWSKI

Fachgruppe „Human Factors, Ergonomie“
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund

Kurzfassung: Der Einsatz zoomorpher Roboter in Arbeitsumgebungen erfordert ein gutes Verständnis der wahrgenommenen Sicherheit im geteilten Arbeitsbereich. Dieser Beitrag untersucht den Einfluss der Körpergröße auf die wahrgenommene Sicherheit bei Begegnungen mit einem zoomorphen Roboter. Grundlage bildeten Daten aus einer experimentellen Laborstudie mit systematischer Variation von Gangbreite und Roboterverhalten. Es zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen Körpergröße und wahrgenommener Sicherheit. Auch das lineare Modell blieb nicht signifikant. Bayes Statistik zeigte moderate Evidenz gegen einen vorliegenden Effekt. Sicherheitswahrnehmungen scheinen primär durch roboterspezifische Eigenschaften und situative Faktoren geprägt zu sein, während die Körpergröße keine Rolle spielt.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Interaktion, zoomorpher Roboter, wahrgenommene Sicherheit, Körpergröße, Roboterverhalten

1. Einführung

In einer sich wandelnden Arbeitswelt gewinnen neue, innovative Technologien regelmäßig an Bedeutung, um komplexe Anforderungen zu bewältigen und Menschen bei ihren Aufgaben zu unterstützen. Mobile Roboter sind in diesem Zusammenhang besonders vielversprechend, da sie aufgrund ihrer Mobilität flexibel in dynamischen Umgebungen eingesetzt werden können und eigenständig wechselnde Arbeitsorte erreichen. Eine besondere Form mobiler Systeme sind zoomorphe Roboter, die sich durch tierähnliche Morphologie auszeichnen und häufig über vier Beine verfügen. Diese spezifische Gestaltung ermöglicht es ihnen, sich effizient in unterschiedlichen Geländetypen zurechtzufinden und beispielsweise weitgehend autonom Inspektionsaufgaben auszuführen. Aufgrund diese Aufgabenprofils kann es zu spontanen Begegnungen zwischen diesen zoomorphen Systemen und Personen kommen, die in keiner geplanten Interaktion mit dem Roboter steht und möglicherweise über wenig Erfahrung im Umgang mit solchen Systemen verfügt. Mit der zunehmenden Verbreitung autonomer mobiler Roboter in Arbeitsumgebungen steigt daher die Relevanz sicherer und angenehmer Interaktionen im geteilten Arbeitsbereich.

Forschung zur Mensch-Roboter-Interaktion zeigt, dass roboterspezifische Faktoren wie Bewegungscharakteristika, Geschwindigkeit oder Distanzregulation maßgeblich dazu beitragen, wie sicher und wohl sich Personen in der Nähe eines Roboters fühlen (Salvini et al. 2022; Klüber & Onnasch 2023; Neef et al. 2023). So wurde gezeigt, dass langsamere Bewegungen und größere Abstände mit einer höheren wahrgenommenen Sicherheit einhergehen (Klüber & Onnasch 2023). Ergänzend zeigen Ergebnisse,

dass die Höhe eines Roboters die Komfortwahrnehmung beeinflusst: Niedrigere Systeme werden häufig als weniger bedrohlich wahrgenommen (Neef et al. 2023).

Während roboterspezifische Einflussfaktoren vergleichsweise gut untersucht sind, gibt es zu individuellen menschlichen Merkmalen, die die Sicherheitswahrnehmung in der Mensch-Roboter-Interaktion beeinflussen könnten, bislang weniger empirische Befunde. Erste Hinweise aus anderen Forschungsfeldern legen jedoch nahe, dass die Körpergröße mit Wahrnehmungs- und Interaktionserfahrungen assoziiert ist. So zeigen Studien beispielsweise, dass die wahrgenommene körperliche Vulnerabilität ein relevanter Prädiktor für Bedrohungs- und Unsicherheitswahrnehmungen ist: Personen, die ihre physische Widerstandsfähigkeit als geringer einschätzen, berichten ein stärkeres Bedrohungserleben (Killias & Clerici 2000). Zudem deuten sozialpsychologische Befunde darauf hin, dass größere Personen in dyadischen Interaktionen häufiger als dominanter wahrgenommen werden und sich selbst als durchsetzungsfähiger erleben (Stulp et al. 2015). Somit kann Körpergröße mit räumlicher Wahrnehmung, Dominanzgefühlen und dem subjektiven Erleben physischer Verwundbarkeit verknüpft sein.

Übertragen auf die Mensch-Roboter-Interaktion erscheint es möglich, dass größere Personen Begegnungen mit robotischen Systemen als weniger bedrohlich oder potenziell gefährlich empfinden könnten. Hinweise darauf finden sich insbesondere in Situationen mit erhöhter Dynamik, etwa bei höheren Robotergeschwindigkeiten, in denen körperliche Voraussetzungen möglicherweise eine größere Rolle spielen (Klüber & Onnasch 2023). Gleichzeitig ist die empirische Evidenz in diesem Zusammenhang bislang begrenzt. Zwar greifen einzelne Arbeiten die Körpergröße als potenziell relevanten Faktor auf, berichten jedoch keine signifikanten Effekte und verweisen auf weiteren Forschungsbedarf (Obaid et al. 2016).

Vor diesem Hintergrund untersucht der vorliegende Beitrag, ob die Einschätzung der wahrgenommenen Sicherheit bei einer Begegnung mit einem zoomorphen Roboter mit der Körpergröße der Person zusammenhängt. Hierzu werden Daten aus einer experimentellen Laborstudie analysiert, in der Gangbreite und Roboterverhalten systematisch variiert wurden (Erlebach et al. 2025). Ziel ist es zu prüfen, ob die Körpergröße die Wahrnehmung im geteilten Arbeitsbereich beeinflusst und somit in bei der menschenzentrierten Gestaltung zoomorpher robotischer Systeme Berücksichtigung finden sollte.

2. Methodik

2.1 Studiendesign

Die vorliegende Studie ist eine Laborstudie, die in den Räumlichkeiten der BAuA in Dortmund durchgeführt wurde. Dazu wurden zwei jeweils 10 m lange Gänge aufgebaut (2 m bzw. 4 m breit, vgl. Abbildung 1).

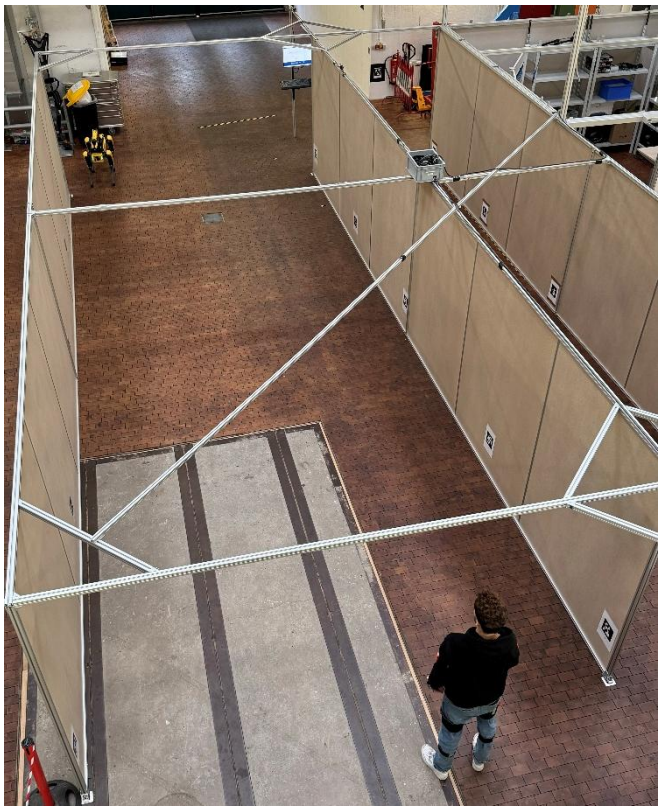


***Abbildung 1**: Studienaufbau. 4 m breiter Gang (links) und 2 m breiter Gang (rechts). Proband und Roboter sind in Startposition für Bedingung A1B1 abgebildet.*

Roboter und teilnehmende Person starteten jeweils von gegenüberliegenden Positionen. Nach dem Start-Signal der Studienleitung, starteten sowohl Roboter als auch Versuchsperson. Der Roboter zeigte dabei eines von drei Verhaltensweisen: Stehenbleiben, Hinsetzen oder Weitergehen. Die Versuchspersonen wurden nicht vorab informiert, welches Verhalten gezeigt wird. Insgesamt gab es so sechs verschiedene Bedingungen (Tabelle 1).

***Tabelle 1:** Darstellung der Bedingungen mit Roboterverhalten und Gangbreiten.*

Roboterverhalten	**Stehenbleiben (B1)**	**Hinsetzen (B2)**	**Weitergehen (B3)**
Gangbreite 4m (A1)	A1B1	A1B2	A1B3
Gangbreite 2m (A2)	A2B1	A2B2	A2B3

Jede Versuchsperson erlebte jede Bedingung vier Mal, was zu 24 Begegnungen pro Person führte. Am Ende jeden Ganges waren Computer aufgebaut, an denen die Versuchspersonen nach jeder Begegnung Fragen zur wahrgenommenen Sicherheit, wahrgenommenen Bedrohung und zum wahrgenommenen Komfort mit der zuvor erlebten Begegnung beantworten sollten.

2.2 Stichprobe

Insgesamt nahmen *N* = 48 Personen an der Studie teil. Im Durchschnitt waren die Teilnehmenden *M* = 39.60 (*SD* = 15.76) Jahre alt. 52% der Teilnehmenden (*n* = 25)

identifizierten sich als Frauen, 48% (*n* = 23) als Männer. Da von *n* = 45 Teilnehmenden die Körpergrößendaten vorlagen, wurden diese für die Analyse genutzt. Die Teilnehmenden waren *M* = 173.09 cm groß (*SD* = 9.79).

2.3 Material

Teil der Studie war sowohl das Ausfüllen von Fragebögen als auch die Aufnahme von Bewegungsdaten. Dafür wurden verschiedene Fragebögen eingesetzt, um wahrgenommene Sicherheit, wahrgenommene Bedrohung und wahrgenommenen Komfort nach jeder Begegnung zu erfassen.

Für die Erfassung der wahrgenommenen Sicherheit wurde ein Fragebogen bestehend aus 12 semantischen Differenzialen genutzt, basierend auf (Akalin 2019). Da der ursprüngliche Fragebogen auf Englisch vorlag, wurde dieser übersetzt und die Fragestellung leicht angepasst, sodass es sprachlich sinnvoll und verständlich ist. So bezogen sich die ersten sechs Adjektive auf die Begegnung, während die letzten sechs sich auf das Verhalten des Roboters bezogen, Cronbachs Alpha der Skala betrug α = 0.96.

Die Bewegungsdaten wurden mittels einer Motion-Capturing-Sensorik aufgezeichnet (Movella XSens Awinda). Zur Kalibrierung wurde die Körpergröße der Teilnehmenden benötigt. Diese wurde durch Selbstbericht erhoben und entsprechend für diese Analyse genutzt.

2.4 Datenanalyse

Um den Einfluss der Körpergröße auf die wahrgenommene Sicherheit zu prüfen, erfolgte die Auswertung der Daten in mehreren Schritten. Zunächst wurde eine Pearson-Korrelation berechnet, um den linearen Zusammenhang zu prüfen. Anschließend wurde ein lineares Regressionsmodell mit wahrgenommener Sicherheit als abhängige Variable und Körpergröße als Prädiktor berechnet. Zudem fand eine Bayes-Faktor-Analyse statt, um die Evidenz für oder gegen einen Effekt der Körpergröße zu quantifizieren.

2.5 Hypothesen

H0: *Körpergröße sagt die wahrgenommene Sicherheit nicht vorher.*
H1: *Körpergröße sagt die wahrgenommene Sicherheit vorher.*

3. Ergebnisse

Die Analysen konnten keinen Zusammenhang zwischen der Körpergröße der Teilnehmenden und ihrer Einschätzung zur wahrgenommenen Sicherheit finden.

Die Pearson-Korrelation zeigte keinen signifikanten Effekt, r = -0.05, p = .73. Das lineare Regressionsmodell bestätigte, dass die Körpergröße die wahrgenommene Sicherheit nicht vorhersagt. Der Effekt der Körpergröße war statistisch nicht signifikant, β = -0.003, p = .73. Das Modell erklärte keinen Varianzanteil, R^2 = 0.003. Somit gibt es keinen Hinweis darauf, dass größere oder kleinere Personen das Zusammentreffen mit dem Roboter unterschiedlich sicher wahrnehmen.

Die Bayes-Faktor-Analyse untersuchte den Einfluss der Körpergröße auf die wahrgenommene Sicherheit. Der Bayes-Faktor für den Haupteffekt der Körpergröße

war BF_{10} = 0.14, was nach der Konvention von (Jeffreys 1998) moderate Evidenz gegen einen Effekt der Körpergröße liefert. Somit stützen die bayesianischen Analysen konsistent die Annahme, dass die Körpergröße keinen Einfluss auf die wahrgenommene Sicherheit hat.

4. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass die Nullhypothese für das Experiment nicht widerlegt werden konnte und kein signifikanter Zusammenhang zwischen Körpergröße und wahrgenommener Sicherheit bei der Begegnung mit einem zoomorphen Roboter gefunden wurde. Dieses Ergebnis steht im Kontrast zu theoretischen Annahmen aus anderen Forschungskontexten, die nahelegen, dass Körpergröße mit Dominanz, Vulnerabilitätswahrnehmung oder Bedrohungserleben zusammenhängen (Killias & Clerici 2000; Stulp et al. 2015). Gleichzeitig deuten frühere Arbeiten darauf hin, dass individuelle Unterschiede in der Mensch-Roboter-Interaktion relevant sein können, jedoch primär auf psychologischer statt auf körperlicher Ebene. So zeigte sich, dass Persönlichkeitsmerkmale und Einstellungen gegenüber Robotern das proxemische Verhalten sowie die subjektive Wahrnehmung von Distanz und Sicherheit beeinflussen (Takayama & Pantofaru 2009; Mumm & Mutlu 2011).

Befunde zur Bedrohungswahrnehmung legen nahe, dass die wahrgenommene Gefahr in der Mensch-Roboter-Interaktion mit zoomorphen Systemen nicht primär aus physischer Stärker oder körperlicher Verwundbarkeit resultiert. Vielmehr entstehen Bedrohungsgefühle durch kognitive und soziale Bewertungsprozesse, z.B. wenn der Roboter als menschlich ähnlich wahrgenommen wird oder Identitätsaspekte infrage stellt (Yogeeswaran et al. 2016). Diese Form der Bedrohung ist somit nicht unmittelbar an körperliche Eigenschaften gekoppelt und könnte ein Grund sein, weshalb die Körpergröße hier keinen signifikanten Einfluss zeigte. In der Vertrauensforschung, die eng mit dem Konstrukt der wahrgenommenen Sicherheit verknüpft ist, zeigte sich bereits, dass roboterspezifische Faktoren den größten Beitrag zur Entwicklung von Vertrauen leisten. Insbesondere die Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und ähnliche Merkmale des Systems sind stark mit Vertrauen assoziiert. Umweltfaktoren tragen nur einen moderaten Beitrag bei, während menschenbezogene Faktoren nur geringe Evidenzen für einen Effekt in der Vertrauensbildung aufweisen (Hancock et al. 2011). Zahlreiche Studien zeigen, dass die wahrgenommene Sicherheit in der Mensch-Roboter-Interaktion vor allem durch Faktoren bestimmt wird, die spezifisch für den jeweiligen Roboter sind. So können insbesondere Dimensionen, Form und Bewegungscharakteristika Unsicherheits- oder Bedrohungsgefühle auslösen (Salvini et al. 2022; Neef et al. 2023), während individuelle menschliche Merkmale hier eine untergeordnete Rolle spielen.

Zusammenfassend deuten die Befunde darauf hin, dass die wahrgenommene Sicherheit in der Mensch-Roboter-Interaktion mit vierbeinigen robotischen Systemen in dieser Größenordnung weniger durch die körperlichen Merkmale der Nutzenden, sondern vielmehr durch die psychologische Bewertung, affektive Reaktionen sowie roboterspezifische Leistungs- und Verhaltensmerkmale bestimmt wird. Zwar können individuelle Unterschiede auf der Ebene von Einstellungen und Persönlichkeitsmerkmalen Einfluss auf Distanz- und Sicherheitswahrnehmung haben (Takayama & Pantofaru 2009), jedoch zeigen weitere Analysen, dass Roboter- und Umweltfaktoren eine viel größere Rolle spielen (Hancock et al. 2011).

Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse erscheint es plausibel, wahrgenommene Sicherheit weniger als Folge stabiler körperlicher Merkmale zu betrachten und den Fokus stattdessen auf subjektive Kontrolle, Vorhersagbarkeit und Vertrauen in das System zu legen. Studien zur Akzeptanz und Nutzung automatisierter Systeme zeigen, dass die wahrgenommene Kontrolle ein zentraler Prädiktor für Sicherheit und Vertrauen ist (Lee & See 2004). Demnach könnte die Körpergröße lediglich ein indirekter oder moderierender Faktor sein, dessen Einfluss erst in Kombination mit eingeschränkter Kontrolle oder erhöhter wahrgenommener Bedrohung sichtbar wird.

5. Literatur

Akalin N, Kristoffersson A, Loutfi A (2019) Evaluating the sense of safety and security in human–robot interaction with older people. In: Social Robots: Technological, Societal and Ethical Aspects of Human-Robot Interaction. Cham: Springer International Publishing, 237–264.

Erlebach R, Rosen P, Wischniewski S (2025) Navigating proximity: Human comfort levels with quadruped robots in shared spaces. In: 2025 IEEE International Conference on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO), 212–217.

Hancock PA, Billings DR, Schaefer KE, Chen JY, de Visser EJ, Parasuraman R (2011) A meta-analysis of factors affecting trust in human–robot interaction. Hum Factors 53(5):517–527.

Jeffreys H (1998) The theory of probability. Oxford: OUP Oxford.

Killias M, Clerici C (2000) Different measures of vulnerability in their relation to different dimensions of fear of crime. Br J Criminol 40(3):437–450.

Klüber K, Onnasch L (2023) Keep your distance! Assessing proxemics to virtual robots by caregivers. In: Companion of the 2023 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. Stockholm: Association for Computing Machinery, 193–197.

Lee JD, See KA (2004) Trust in automation: Designing for appropriate reliance. Hum Factors 46(1):50–80.

Mumm, J. and B. Mutlu (2011). Human-robot proxemics: Physical and psychological distancing in human-robot interaction. Mumm J, Mutlu B (2011) Human–robot proxemics: Physical and psychological distancing in human–robot interaction. In: Proceedings of the 6th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 331–338.

Neef NE, Zabel S, Lauckner M, Otto S (2023) What is appropriate? On the assessment of human–robot proxemics for casual encounters in closed environments. Int J Social Robotics 15(6):953–967.

Obaid M, Sandoval EB, Złotowski J, Moltchanova E, Basedow CA, Bartneck C (2016) Stop! That is close enough: How body postures influence human–robot proximity. In: 2016 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), 354–361.

Salvini P, Paez-Granados D, Billard A (2022) Safety concerns emerging from robots navigating in crowded pedestrian areas. Int J Social Robotics 14(2):441–462.

Stulp G, Buunk AP, Verhulst S, Pollet TV (2015) Human height is positively related to interpersonal dominance in dyadic interactions. PLOS ONE 10(2):e0117860.

Takayama L, Pantofaru C (2009) Influences on proxemic behaviors in human–robot interaction. In: 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 5492–5502.

Yogeeswaran K, Złotowski J, Livingstone M, Bartneck C, Sumioka H, Ishiguro H (2016) The interactive effects of robot anthropomorphism and robot ability on perceived threat and support for robotics research. J Human-Robot Interaction 5(2):29–47.

Förderhinweis: Diese Arbeit wird kofinanziert durch das Projekt „Human Centered Technologies for a Safer and Greener European Construction Industry (HumanTech)", das Fördermittel aus dem Forschungs- und Innovationsprogramm „Horizon Europe" der Europäischen Union (Fördervereinbarung Nr. 101058236) erhalten hat.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Sicheres Begegnen von Mensch und Roboter in simulierten Szenarien des öffentlichen Raums

Peter NICKEL[1], Anna-Maria MEER[2], Sven SCHNEIDER[1], Björn KAHL[2]

[1] Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)
Alte Heerstraße 111, D- 53757 Sankt Augustin
[2] Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)
Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart

Kurzfassung: Im Arbeitsalltag sind mobile Roboter bereits weit verbreitet, jedoch im öffentlichen Raum in Ländern der Europäischen Union noch selten anzutreffen. Anforderungen an eine sichere und ergonomische Gestaltung der Roboter selbst und der Interaktion mit ihnen sind für den öffentlichen Raum weitestgehend unklar. Eine Studie zu simulierten kritischen, aber gleichzeitig typischen Szenarien des öffentlichen Raums soll vorhandene Erkenntnisse erweitern. Erste Datenanalysen zeigten Skalierungsunterschiede zur empfundenen Sicherheit für untersuchte Varianten von Rampen und Durchgängen. Begegnungen auf 13°-Rampen im Vergleich zu 0°-Rampen wurden tendenziell als weniger sicher empfunden. Begegnungen in Durchgängen wurden, wenn Roboter und nicht Menschen die Kontrolle über das gegenseitige Ausweichen hatten, als signifikant weniger sicher empfunden. Diese Ergebnisse wurden kurz diskutiert. Zu berücksichtigen ist, dass für generalisierbare Aussagen die Analysen auf weitere Daten ausgeweitet und im Zusammenhang mit funktionaler Leistungsfähigkeit und Qualität der Mensch-Roboter-Interaktion zu betrachten sind.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Interaktion, empfundene Sicherheit, funktionale Sicherheit, Begegnung, adaptiv und adaptiert

1. Mensch-Roboter-Interaktion im öffentlichen Raum

Im Arbeitsalltag sind mobile Roboter schon weit verbreitet. Die sichere und menschengerechte Interaktion von Menschen mit Robotern wird durch Gestaltungsanforderungen der Maschinensicherheit zur funktionalen Sicherheit und zu Human Factors und Ergonomie bereits beim Inverkehrbringen berücksichtigt. Weitere Gestaltungsanforderungen beim Betreiben ergeben sich aus dem betrieblichen Arbeitsschutz. Im öffentlichen Raum hingegen sind mobile Roboter – zumindest in Ländern der Europäischen Union – noch selten anzutreffen. Welche Anforderungen hier an die sichere Mensch-Roboter-Interaktion und damit auch an eine sichere und ergonomische Gestaltung der Roboter selbst zu stellen sind, ist weitestgehend unklar.

Das Roboter-Kompetenz- und Interaktionstestcluster "rokit", ein BMFTR (ehemals BMBF)-gefördertes interdisziplinäres Konsortium von 13 Partnern, forscht zur praktischen Umsetzung von Mensch-Roboter-Interaktionen im öffentlichen Raum. Projektstudien und Literaturrecherchen (z.B. Friedrich et al. 2025a,b; Nickel et al. 2024, 2025) zeigten, dass sich Anforderungen an sichere Mensch-Roboter-Interaktionen (MRI) im öffentlichen Raum von denen des betrieblichen Einsatzes

unterscheiden. So sind etwa Nutzerpopulation und -kontext deutlich vielseitiger und neben funktionaler beeinflusst insbesondere auch die empfundene Sicherheit eine sichere MRI im öffentlichen Raum.

In einer rokit-Studie des Fraunhofer Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Kooperation mit dem Institut für Arbeitsschutz des Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) wurden für Begegnungen zwischen Mensch und Roboter eine Rampe und ein Durchgang als kritische, aber gleichzeitig typische MRI-Szenarien des öffentlichen Raums identifiziert. Begegnungsszenarien des öffentlichen Raums wurden systematisch variiert, um mögliche Einflüsse auf die funktionale Leistungsfähigkeit des Roboters, die Qualität der MRI und die empfundene Sicherheit des Menschen zu untersuchen.

2. Methoden

2.1 Versuchspersonen

An der Studie nahmen 24 erwachsene Versuchspersonen teil (15 weiblich, *M* = 27,9 Jahre, *SD* = 7,15 Jahre). Gut die Hälfte (13) hatte bisher keine Erfahrung mit Robotern und ist ihnen im öffentlichen Raum noch nicht begegnet. Die Studie wurde von der Ethikkommission der DGUV als ethisch unbedenklich erklärt (DGUV 2025-050).

2.2 Aufgaben und simulierte Szenarien des öffentlichen Raums

Im Labor des Fraunhofer IPA wurden für direkte Begegnungen von einzelnen erwachsenen Versuchspersonen mit einem mobilen Roboter (ROX, Neobotix GmbH, Heilbronn) Szenarien mit einerseits Rampen und andererseits Durchgängen aufgebaut. Mensch-Roboter-Kollisionen wurde präventiv entgegengewirkt, einerseits funktional durch ein Schutzfeld von 350 mm um den Roboter, aufgespannt durch zwei Sicherheitslaserscannern, dessen Auslösen zum sicheren Stillsetzen des Roboters führte; andererseits ergänzend personenbezogen durch das Tragen von Überschuhen mit Zehenschutzkappe. Während die Rampe in der Steigung variierte, ergaben sich in Durchgängen unterschiedliche Arten des Ausweichens von Roboter und Mensch.

Im Versuchsabschnitt „Rampe“ stellte sich eine Versuchsperson am Ende einer 2 x 5 m Fläche gegenüber dem Roboter auf. Der Roboter fuhr auf die Versuchsperson zu, während diese angewiesen war, zur Seite zu treten, sobald sie das Entgegenkommen des Roboters nicht mehr als sicher empfand. Anschließend wechselte die Versuchsperson auf die vorherige Startposition des Roboters und der Roboter fuhr wieder auf die Versuchsperson zu. Das Entgegenkommen wurde 4-mal je Rampenart wiederholt. Es fand jeweils auf einer ebenen Fläche (Rampenart 0°) und einer Fläche mit mittig eingebauter, 2 m langer Steigung (Rampenart 13°) statt.

Im Versuchsabschnitt „Durchgang“ stellte sich eine Versuchsperson mittig am Anfang einer 2 x 5 m Fläche, die mit verschiebbaren Zäunen abgegrenzt war, gegenüber dem Roboter auf (siehe Abbildung 1). Der Roboter und die Versuchsperson sollten auf die jeweils gegenüberliegende Seite des Durchgangs gelangen. Das Begegnen ungefähr auf halbem Weg wurde 4-mal je Durchgangsart wiederholt. Es fand jeweils als Mensch-kontrolliertes oder Roboter-kontrolliertes Ausweichen statt.

2.3 Versuchsdurchführung

Nach Begrüßung, Einverständniserklärung, Sicherheitsunterweisung und Studieninformation wurden von den Versuchspersonen demographische Informationen und ihre Einstellung zu Robotern (Koverola et al. 2022) erhoben. Die Versuchspersonen zogen Überschuhe an und wurden mit Markern versehen. Diese Marker wurden zur Bewegungserfassung vom Trackingsystem Vicon (Vicon Motion Systems Ltd., UK) in Kombination mit dem Kamerasystem Vicon Vero detektiert. So konnten sowohl die Bewegungen des Personenkörpers als auch die des ebenfalls markierten Roboters erfasst werden. Sowohl für die Versuchspersonen als auch für den Roboter wurden später Distanzen, Wege und Geschwindigkeiten ermittelt. Zunächst wurde der Versuchsabschnitt „Rampe“ bearbeitet. Nach jeder Rampenart wurden die Versuchspersonen um eine Einschätzung der empfundenen Sicherheit auf einer 10-Punkte-Skala gebeten. Während des anschließenden Umbaus für den nachfolgenden Versuchsabschnitt „Durchgang“ skalierten sie ihre psychische Beanspruchung (Reid 1989) und ihr Vertrauen in die Mensch-Roboter-Interaktion (Schaefer 2016). Auch während der Abarbeitung des folgenden Versuchsabschnitts „Durchgang“ gaben sie für jede Durchgangsart Einschätzungen zur empfundenen Sicherheit ab. Im Anschluss skalierten sie wiederum mit denselben Verfahren, ergänzt um eine Bewertung der Gebrauchstauglichkeit der MRI (Brooke 1995). Nach dem Ablegen von Überschuhen und Markern nahmen sie an einem halbstrukturierten Interview zu ihren Erfahrungen und Eindrücken teil und wurden nach ca. 80 Min. mit Dank verabschiedet.

***Abbildung 1**: Versuchsperson begegnet dem Roboter im Durchgangs-Szenario während sich beide gegenseitig ausweichen.*

3. Ergebnisse

Während der systematischen Variation von simulierten, typischen Begegnungsszenarien des öffentlichen Raums konnten Befragungs- und Bewegungsdaten erhoben werden. Bisher vorliegende Auswertungen der Befragungsdaten beziehen sich auf Skalierungen zur empfundenen Sicherheit jeweils im Anschluss an die Begegnungen mit dem Roboter auf jeder Rampe und in den Durchgängen nach variierten Ausweichformen. Begegnungen von Versuchsperson und Roboter tendieren auf der 0°-Rampe (M_{R0} = 8,52, SD_{R0} = 1,47) im Vergleich zur 13°-Rampe (M_{R13} = 8,04, SD_{R13} = 1,55) mit einer relativ höheren empfundenen Sicherheit skaliert zu werden ($t_{R0\text{-}R13}(23) = 1{,}68$, $p = 0{,}054$). Für die Kontrolle des Menschen über das Ausweichen in Durchgängen (M_{KM} = 8,29, SD_{KM} = 1,33) im Vergleich zur Kontrolle des Roboters (M_{KR} = 6,03, SD_{KR} = 1,80) zeigt sich hingegen eine signifikant höhere empfundene Sicherheit ($t_{KM\text{-}KR}(23) = 9{,}22$, $p < 0{,}001$).

Auswertungen zu übrigen Befragungsdaten und insbesondere zum Bewegungstracking stehen noch aus und können aktuell noch nicht über die funktionale Leistungsfähigkeit und Qualität der MRI und detaillierter zur empfundenen Sicherheit informieren. Die Blickbewegungen von Versuchspersonen während der Begegnungen mit dem Roboter konnten wegen Funktionsmängeln eines neu entwickelten Eyetracking-Systems weder erhoben noch ausgewertet werden. Es wird daher versucht, aus den Körperbewegungsdaten zumindest Informationen zum dynamischen Sichtfeld anhand der Kopfstellung anzunähern.

4. Diskussion

Mit dem bisher begrenzten Stand der Analysen wird deutlich, dass Begegnungen mit mobilen Robotern in den hier ausgewählten typischen, simulierten Szenarien des öffentlichen Raums nicht als uneingeschränkt sicher empfunden werden. Darüber hinaus ergaben sich Skalierungsunterschiede für untersuchte Varianten von Rampen und Durchgängen. Das bezieht sich tendenziell auf Begegnungen auf 13°-Rampen im Vergleich zu 0°-Rampen und wurde besonders deutlich, wenn in Durchgängen Roboter und nicht Menschen die Kontrolle über das gegenseitige Ausweichen haben. Es sind allerdings Analysen der weiteren erhobenen Daten und Interviews abzuwarten, bevor abschließende Interpretationen, detailliertere Aussagen zur Studienfragestellung oder Gestaltungsempfehlungen für mobile Roboter im öffentlichen Raum vorgenommen werden können.

Ein solches erstes Ergebnis zum eingeschränkten Sicherheitsempfinden mag grundsätzlich überraschen, da die Szenarien der Studie einer Gefährdungsbeurteilung unterzogen wurden, die Versuchspersonen eine Sicherheitsunterweisung erhielten, der Roboter forderungsgerecht funktional abgesichert war und die Versuchspersonen Überschuhe als persönliche Schutzausrüstung trugen. Anders als im betrieblichen Kontext ist etwa im öffentlichen Raum davon auszugehen, dass Passanten keine persönliche Schutzausrüstung tragen, sie wahrscheinlich selten und dann immer wieder anderen unbekannten Robotern begegnen werden und kaum Informationen über Sicherheitsfunktionen eines jeweiligen Roboters haben, die dann weder im Begegnungskontext noch für jeden speziellen Roboter durch Passanten bewertet werden können.

Im Begegnungsverkehr sollten mobile Roboter für Passanten vorhersehbar sein. Aussagen einzelner Versuchspersonen illustrieren, welche Inhalte bei

Gestaltungsempfehlungen für auch als sicher empfundene Begegnungen mit mobilen Robotern relevant werden können. Bezogen auf die Rampe wurde darauf hingewiesen, dass Roboter bereits bei Annäherung ihre Geschwindigkeit reduzieren und nicht erst abrupt zum Stehen kommen sollten. Bezogen auf die Durchgänge wurde darauf hingewiesen, dass Roboter möglichst frühzeitig und dabei möglichst vorhersehbar und verlässlich ausweichen sollten.

Die vorliegende Studie wird auch nach umfangreicher Auswertung nicht alle Bedenken mit der Gestaltung mobiler Roboter im öffentlichen Raum lösen können. Allerdings wird sie absehbar bereits vorhandene wissenschaftliche Erkenntnisse ergänzen.

5. Literatur

Brooke JH (1995) SUS A „Quick and Dirty“ usability scale. In: Jordan PW, Thomas B, Weerdmeester BA, McClelland AL (Eds) Usability evaluation in industry. London: Taylor and Francis, 189-194.

Friedrich M, Langer D, Dettmann A, Bullinger-Hoffmann AC, Oehme A, Pourpart S, Kotsch P, Schweidler P (2025a) Evaluating public reactions to robots: A novel approach for structured, real-time observations in field studies. Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 15803:233-252. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-92980-9_15]

Friedrich M, Langer D, Dettmann A, Bullinger-Hoffmann AC (2025b). Evaluation of human-robot encounters in public spaces - A question of method(s)? In De Waard D, Onnasch L, Liebherr M, Dettmann A, Siebert F, Karrer-Gauß K, Winkler S, Toffetti A, De Angelis M (Eds) Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2025 Annual Conference. April 9-11, San Giovanni in Monte Complex, Bologna, Italy.

Koverola M., Kunnari A, Sundvall J, Laakasuo M (2022) General attitude towards robots scale (GAToRS). A new instrument for social surveys. International Journal of Social Robots 14:1559-1581. [https://doi.org/10.1007/s12369-022-00880-3]

Nickel P, Meer A-M, Kahl B (2024) Empfundene Sicherheit für mehr Qualität in Mensch-Roboter-Interaktionen. In GfA (Hrsg) Arbeitswissenschaft in-the-loop: Mensch-Technologie-Integration und ihre Auswirkung auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung. Sankt Augustin: GfA-Press, D.6.3, 1-5.

Nickel P, Meer A-M, Kahl B (2025) Human factors and ergonomics in human-robot interaction for public spaces promote perceived safety. Springer Series in Design and Innovation (SSDI) 41:404-409. [https://doi.org/10.1007/978-981-96-9330-6_60]

Reid GB (1989) Subjective workload assessment technique (SWAT): A user’s guide (Technical report AAMRL-TR-89-023). Wright-Patterson: AAMRL.

Schaefer KE (2016) Measuring trust in human robot interactions: Development of the “Trust Perception Scale-HRI”. In: Mittu R, Sofge D, Wagner A, Lawless W (Eds) Robust intelligence and trust in autonomous systems. Boston: Springer, 191-218. [https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7668-0_10]

Danksagung: Der Beitrag entstand im „Roboter-Kompetenz- und Interaktionstest-cluster – rokit“, einem durch die Human Factors Consult GmbH (Berlin) koordinierten interdisziplinären Projektverbund des BMBF-Förderschwerpunkts „Roboter für Assistenzsysteme“ (Förderzeichen 16SV8941) Weitere Informationen bietet: https://www.public-robots.de

Untersuchung manueller und roboterbasierter Sprühprozesse mittels Prozesssimulation

Anne-Sophie SAFFERT[1], Michael SPITZHIRN[2], Thomas LINNER[1]

[1] Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
Seybothstraße 2, D-93053 Regensburg
[2] imk Industrial Intelligence GmbH, Amselgrund 30, D-09128 Chemnitz

Kurzfassung: Das Bauhandwerk ist stark vom Fachkräftemangel betroffen, der durch hohe physische Belastungen und arbeitsbedingte Muskel-Skelett-Erkrankungen zusätzlich verstärkt wird. Roboterbasierte Assistenzsysteme bieten das Potenzial, körperlich belastende Tätigkeiten zu reduzieren und die langfristige Einsatzfähigkeit der Beschäftigten zu sichern. Der Beitrag vergleicht ergonomische und zeitwirtschaftliche Effekte eines manuellen und eines roboterunterstützten Farbauftrags bei Malertätigkeiten. Die Analyse erfolgt simulationsgestützt mit ema Work Designer unter Anwendung etablierter arbeitswissenschaftlicher Bewertungsverfahren (MTM, EAWS). Betrachtet werden unterschiedliche Personengruppen (M50, F05, M95). Die Ergebnisse zeigen, dass der manuelle Farbauftrag mit erhöhten ergonomischen Risiken infolge repetitiver Bewegungen, ungünstiger Körperhaltungen und Lastenhandhabung verbunden ist. Der Einsatz des Sprühroboters Nova-S kann diese Belastungen reduzieren und einen ergonomischen Mehrwert generieren. Der Beitrag verdeutlicht damit das Potenzial roboterbasierter Systeme zur ergonomischen Entlastung und zur Unterstützung einer nachhaltigen Arbeitsgestaltung im Bauhandwerk.

Schlüsselwörter: Digitale Menschmodelle, Ergonomie, Robotik, Prozesssimulation, Spraying, Streichprozess, Baubranche

1. Motivation

Das Bau- und Ausbauhandwerk ist in besonderem Maße vom Fachkräftemangel betroffen, bedingt durch demografischen Wandel, sinkende Ausbildungszahlen und hohe Fluktuation, die die Verfügbarkeit qualifizierter Arbeitskräfte zunehmend einschränken (Zentralverband des Deutschen Handwerks 2023). Zugleich sind manuelle Handwerksprozesse häufig mit hohen physischen Belastungen durch repetitive Bewegungen und ungünstige Körperhaltungen verbunden, was das Risiko arbeitsbedingter Muskel-Skelett-Erkrankungen erhöht und Ausfallzeiten sowie Berufswechsel begünstigt (DGUV 2021). Vor diesem Hintergrund gewinnen Assistenz- und Automatisierungssysteme im Bau- und Malerhandwerk an Bedeutung. Roboterbasierte Lösungen wie der Sprühroboter Nova-S bieten das Potenzial, körperlich belastende Teiltätigkeiten zu übernehmen und so zur ergonomischen Entlastung sowie zur langfristigen Einsatzfähigkeit der Beschäftigten beizutragen (Jawale et al. 2022).

Für eine belastbare Bewertung des Beitrags roboterbasierter Systeme sind systematische Analysen ihrer ergonomischen und zeitwirtschaftlichen Wirkungen erforderlich. Simulationsbasierte Ansätze wie der ema Work Designer (emaWD) ermöglichen eine realitätsnahe Simulation von manuellen Arbeitsprozessen in

Unterstützung mit Robotern sowie die frühzeitige Identifikation ergonomischer Risiken bei reduziertem Zeit- und Kostenaufwand und bilden damit eine fundierte Grundlage für die Analyse roboterbasierter Arbeitssysteme (Saffert et al. 2024; Schmailzl et al. 2023; Spitzhirn et al. 2025).

Der Beitrag untersucht die ergonomischen und zeitlichen Belastungen eines manuellen Farbauftrags auf Wandflächen im Vergleich zu einem roboterunterstützten Farbauftrag unter Einsatz des Sprühroboters Nova-S. Die Analyse erfolgt simulationsgestützt mit emaWD. Ziel ist es, ergonomische und zeitwirtschaftliche Effekte systematisch zu bewerten und das Potenzial roboterbasierter Systeme zur ergonomischen Entlastung der Beschäftigten sowie zur nachhaltigen Minderung des Fachkräftemangels im Bau- und Ausbauhandwerk aufzuzeigen.

2. Methodik

2.1 Versuchssetup und -tätigkeiten

Der Prozess des Farbauftrags auf die Wandflächen inkl. vor- und nachbereitender Tätigkeiten wurde im Building Lab der OTH Regensburg durchgeführt (vgl. Abb. 1 links). Der Raum mit den Abmessungen 5,27 m × 4,76 m × 2,50 m weist einen Türausschnitt (2,03 m × 1,76 m) sowie ein Fenster (1,20 m × 0,70 m) auf. Daraus ergibt sich eine zu benetzende Gesamtwandfläche von 45,7 m² (vgl. Abb. 1 rechts).

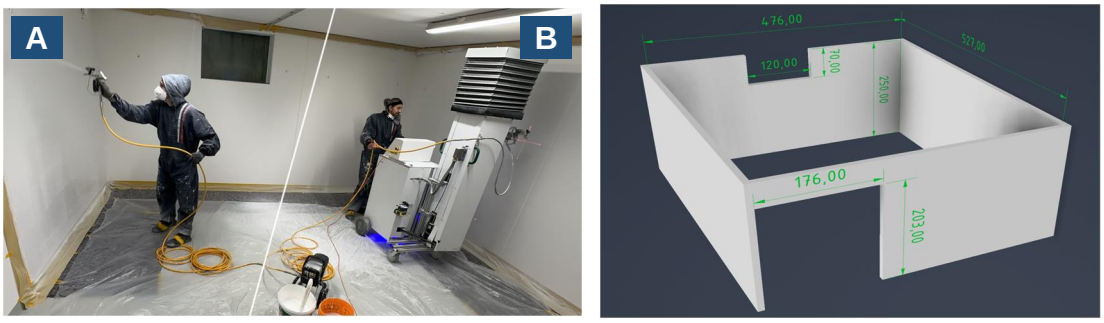


***Abbildung 1**: Tätigkeitsabbild des Malerprozesses mit manuellem Sprühvorgang (A) und roboterunterstützt mittels Sprühroboter (B) innerhalb des Versuchsraumes.*

Für den Malerprozess sind die nachfolgenden Tätigkeiten durchzuführen. Im Prozess 3 erfolgt der Farbauftrag unter Bedingung A manueller Farbauftrag mittels Airless-Spritzpistole sowie Bedingung B roboterunterstützter Farbauftrag:

- Abkleben von zu schützenden Elementen und Befestigung mit Malerkrepp
- Vorbereiten Kolbenpumpe: Farbe rühren und Spritzschläuche an Kolbenpumpe als auch die Farbsprühpistole bzw. den Roboter schließen
- Sprühvorgang mit manuellem bzw. roboterunterstütztem Airless-Sprühsystem
- Reinigen der Kolbenpumpe durch Pumpen von Wasser statt Farbe
- „Backrolling“ mit Malerrolle zur Generierung von Textur von gesprühten Flächen

2.2 Manueller und robotergestützter Sprühprozess

Der manuelle Farbauftrag erfolgt mit einer Airless-Farbspritzpistole durch vertikale, bahnweise Armbewegungen (vgl. Abb. 1 A). Der roboterunterstützte Farbauftrag wird mit dem Sprühroboter NOVA-S realisiert (vgl. Abb. 1 B). Das System besteht aus einem fahrbaren Untergestell mit montierbarer Sprühsäule (Gesamtgewicht 85kg), das

manuell auf Rollen bewegt wird; die erforderliche Schubkraft beträgt auf Betonboden etwa 65N. Die Sprühsäule ist um 90° drehbar und bis 2,8m ausfahrbar, wodurch mit zwei integrierten Sprühköpfen eine maximale Sprühhöhe von 3,3m und eine Bahnbreite von 0,6m erreicht werden. Die Farbversorgung erfolgt über eine Kolbenpumpe. Der Sprühprozess kann manuell oder automatisiert durchgeführt werden, wobei im Automatikmodus ein selbstständiges Verfahren und Auslösen der Sprühvorgänge erfolgt.

2.3 Ergonomische und zeitliche Untersuchung mittels Prozesssimulation

Zur virtuellen Abbildung der Arbeitsabläufe sowie zur ergonomischen und zeitwirtschaftlichen Bewertung wurde eine Arbeitsprozesssimulation mit dem ema Work Designer und dessen integriertem digitalem Menschmodell eingesetzt (Spitzhirn et al. 2022; Spitzhirn et al. 2025). Der Untersuchungsraum wurde modelliert und relevante Werkzeuge und Hilfsmittel (u. a. Pinsel, Sprüheinrichtungen, Leitern) aus internen sowie externen CAD-Bibliotheken integriert. Die Arbeitsprozesse wurden sowohl für den manuellen Farbauftrag als auch für den roboterunterstützten Sprühprozess simuliert, wobei reale Prozesszeiten, -geschwindigkeiten und Aktionskräfte für das Abkleben (ca. 10N), Sprayen (ca. 3 N für Abzugshebel) und Streichen (ca. 40N für Farbauftrag) in die Modellierung übernommen wurden. Die Ermittlung von Gesamt- und Teilprozesszeiten erfolgte auf Basis von Ist-Zeiten sowie Normzeiten nach MTM-UAS. Die ergonomische Bewertung wurde mithilfe von Gelenkwinkelanalysen gemäß DIN 1005-4 sowie des EAWS-Verfahrens zur Beurteilung biomechanischer Risiken für den Gesamtkörper und die oberen Extremitäten für eine Nettoarbeitsschicht von 440 min durchgeführt.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Digitale Abbildung des Gesamtprozesses und dessen zeitliche Betrachtung

Abb. 2 zeigt die digitale Abbildung des Raumes sowie der simulierten Teiltätigkeiten des Farbauftrags (Sprayen, Streichen) und der Abklebearbeiten.

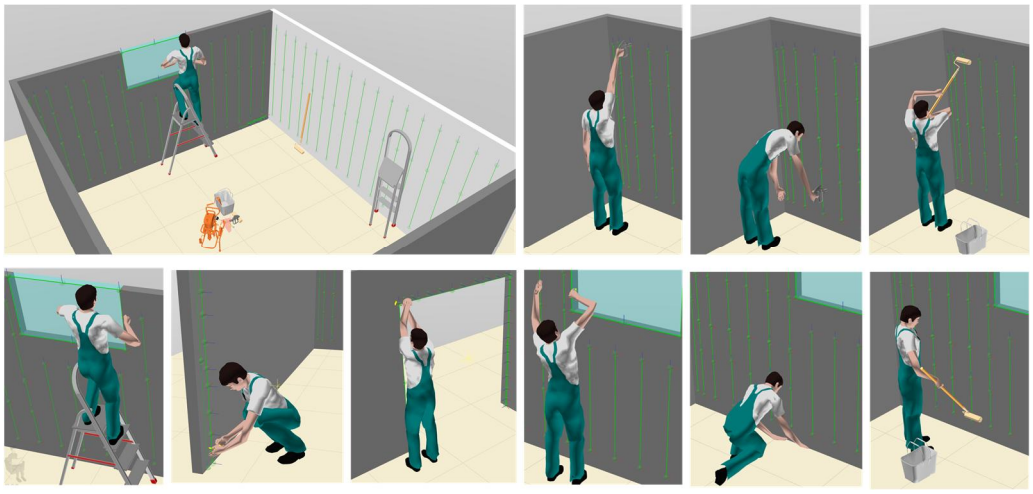


***Abbildung 2**: Simulierter Malerprozesses mit Gesamtraum sowie Abklebe-, Spray- und Streichtätigkeiten in verschiedenen Arbeitshöhen unter Einsatz des emaWD.*

Simuliert wurden exemplarisch die Tätigkeiten an der hinteren Wand mit Fenster sowie das Abkleben der Tür. Die Gesamtzeit der simulierten Tätigkeiten beträgt 628,3 s. Davon entfallen 50,4 s auf das Abkleben der Tür, 81,5 s auf das Abkleben des Fensters und 52,1 s auf das Abkleben des hinteren Bodenbereichs, was einer Gesamtzeit von 190,1 s für Abklebearbeiten entspricht. Für den manuellen Farbauftrag werden 96,6 s für das Sprayen und 340,5 s für das Streichen benötigt. Die Hochrechnung auf den gesamten Raum ergibt eine Gesamtzeit von 34,8 min für das Abkleben und den Farbauftrag einer Wandfläche von 45,7 m².

3.2 Ergonomische Analyse des manuellen Malerprozesses

Die ergonomische Bewertung des Gesamtprozesses für den Mann M50 (Körpergröße 1,75 m, Altersklasse 40 Jahre) ergibt nach EAWS ein biomech. Risiko von 35,5 Pkt. für den Gesamtkörper und 52 Pkt. für obere Extremitäten (vgl. Abb. 3).

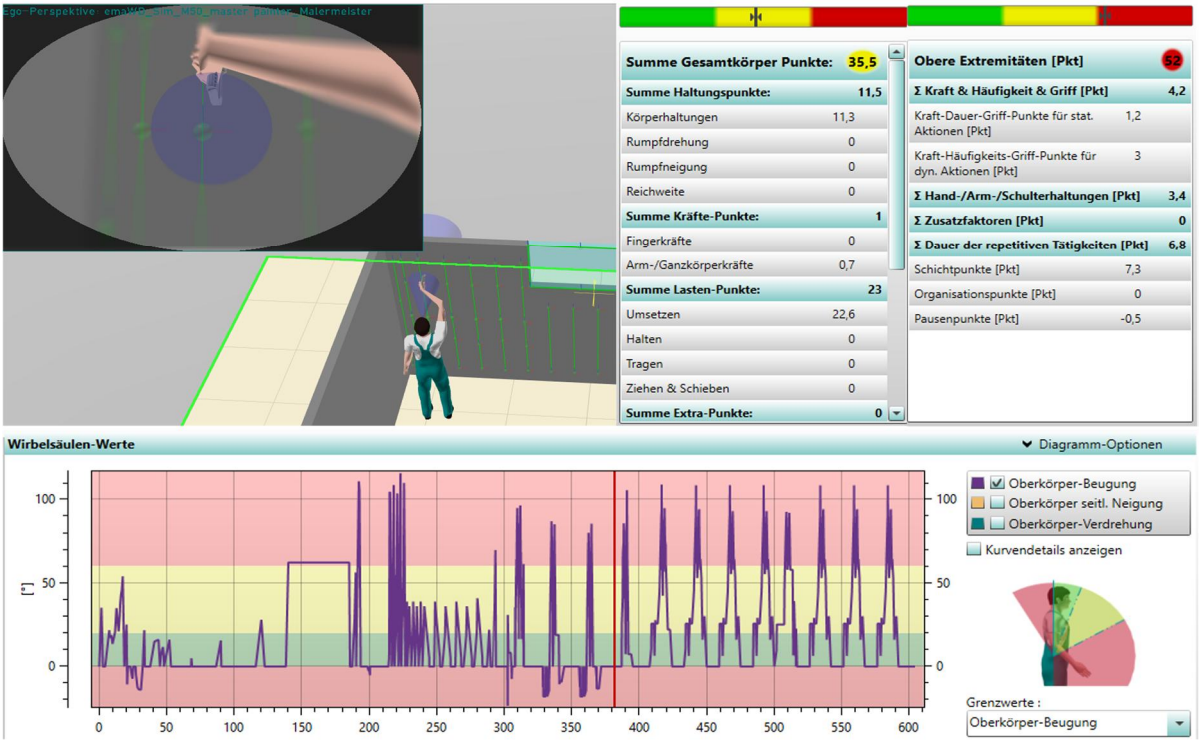


***Abbildung 3**: Ergonomische Bewertung des Malerprozesses für M50; links oben: Sichtanalyse, mittig oben: EAWS für Gesamtkörper; rechts oben: EAWS für obere Extremitäten; unten: Gelenkwinkelanalyse nach DIN 1005-4.*

Die Hauptbelastung liegt im rechten Hand-Arm-System und resultiert aus der gleichförmigen, repetitiven Ausführung der Tätigkeiten. Für die oberen Extremitäten ergeben sich nach EAWS-Hand-Kraft-Punkte von 4,2 Punkten und Gelenkwinkel-Punkte von 3,4 Punkten. Unter der Annahme der Verteilung der Tätigkeiten über eine Nettoarbeitszeit von 440 min ergeben sich 6,8 Dauerpunkte.

Die Belastung des Gesamtkörpers liegt im mittleren Risikobereich und wird durch Lastenhandhabungen (Tragen Leiter 8 kg, Farbeimer 5 kg) sowie ungünstige Körperhaltungen (Bücken, Beugen, Knien, Arbeiten über Schulterhöhe) verursacht. Die Sichtanalyse zeigt eine Wahrnehmbarkeit aller relevanten Informationen. Die Gelenkwinkelanalyse verdeutlicht, dass die Spray- und Streicharbeiten häufig mit stark nach vorne Beugen verbunden sind, was eine wesentliche Belastung darstellt.

Die Analyse für weiteren Personengruppen (F05: kleine Frau, 60 Jahre; M95: großer Mann, 20 Jahre) in Anlehnung an Spitzhirn et al. (2022) zeigt, dass insb. für kleinere Personen ohne zusätzliche Hilfsmittel (z. B. Leitern) die Ausführbarkeit deutlich eingeschränkt ist. Für die Frau F05 Altersklasse 60 Jahre ergibt sich mit 58,5 EAWS-Punkten ein deutlich erhöhtes ergonomisches Risiko für den Gesamtkörper, infolge der Lastenhandhabungen und des höheren relativen Kraftaufwands. So führt eine erforderliche Ganzkörperkraft von 40 N beim Streichen bei den Männern M50 und M95 zu 0,7 Punkten, während für Frau F05 (AK 60) 15,6 Punkte resultieren.

3.3 Ergonomische Analyse des roboterunterstützten Malerprozesses

Der Einsatz des Sprühroboters Nova-S vermeidet ungünstige Körperhaltungen während des Farbauftrags, führt jedoch zugleich zu zusätzlichen Belastungen durch das manuelle Verschieben des Eigengewichts des Robotersystems. In ungünstigen Nutzungsszenarien kann dies zu einer Erhöhung der ergonomischen Gesamtbelastung führen (vgl. Abb. 4, Nr. 3). Bei sachgerechter Anwendung ist jedoch eine ergonomische Entlastung (vgl. Abb. 4, Nr. 4) zu erwarten, da die präzise Sprühtechnik den Kraftaufwand beim anschließenden Backrolling reduziert. Eine Verringerung der notwendigen Gesamtkraft beim Streichen von 40 N auf 30 N führt bspw. bei der Personengruppe Frau F05 AK60 zu einer deutlichen Reduktion der EAWS-Gesamtbelastung von 58,5 Punkten im Ausgangszustand auf 40,5 Punkte.

***Abbildung 4**: Ergonomische Bewertung Einsatz des Sprühroboters Nova bei 40N Streichkraft (Nr. 3) und 30N (Nr. 4) im Vergleich zur ausschließlich manuellen Malertätigkeit (Nr. 2).*

4. Diskussion

Die Simulation zeigt, dass der manuelle Streichprozess mit einem deutlich höheren zeitlichen Aufwand verbunden ist als der Sprühauftrag. Während für das Sprühen durchschnittlich 8,8 s/m² benötigt werden, beträgt der Zeitaufwand beim Streichen 31,1 s/m². Der erhöhte Zeitbedarf resultiert insb. aus dem wiederholten Benetzen des Teleskoppinsels mit Farbe, das beim Sprühverfahren entfällt. Demgegenüber stehen beim Sprühen zusätzliche vor- und nachbereitende Tätigkeiten, wie das Anschließen und Reinigen der Kolbenpumpe und der Spritzschläuche.

Der Vergleich mit empirisch erhobenen Zeiten nach Schönleber et al. (2026) bestätigt die Plausibilität der Simulation für die Hauptprozesse. Während die simulierten Zeiten für den manuellen Sprühauftrag (4 min 57 s für drei Wände) gut mit den Messwerten übereinstimmen, weichen die Vor- und Nachbereitungszeiten

deutlich ab. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in der Simulation gezielt ergonomisch kritische Tätigkeiten betrachtet wurden, während der Großteil der realen Arbeitszeit auf Abdeckarbeiten entfiel. Der Einsatz des Sprühroboters Nova führt entsprechend zu einer Verschiebung der Belastungsprofile und zeigt insgesamt eine Reduktion der ergonomischen Belastung gemäß EAWS, was das Potenzial robotergestützter Systeme zur Entlastung manueller Tätigkeiten unterstreicht.

5. Zusammenfassung & Ausblick

Der Beitrag analysiert die ergonomischen und zeitwirtschaftlichen Bedingungen manueller und robotergestützter Sprüheinsätze bei Malertätigkeiten. Dabei wurden für verschiedene Personengruppen, insbesondere für die Gruppe F05 (AK60), ergonomisch und zeitlich kritische Teiltätigkeiten identifiziert. Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz robotergestützter Sprühtechnologien mit dem Nova-Roboter bereits in kleineren Raumszenarien einen messbaren ergonomischen Mehrwert bietet. Zukünftige Untersuchungen sollten zusätzliche Potenziale in weiteren Anwendungsszenarien, etwa in größeren Gebäuden, analysieren, in denen reduzierte Laufwege und eine gleichmäßigere Arbeitsbelastung zu erwarten sind. Darüber hinaus ist die Betrachtung höherer Automatisierungsgrade sowie einer ergonomisch und organisatorisch optimierten Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Roboter im Sinne einer nachhaltigen Mensch-Roboter-Kollaboration erforderlich.

6. Literatur

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (2023). Muskel-Skelett-Belastungen – erkennen und beurteilen. DGUV Information 208-033.

Jawale, M., Hoene, A., Wei, F. (2022). Ergonomische Bewertung des Arbeitsplatzes mithilfe einer Laborstudie zur Prüfung von Ergonomieunterstützungslösungen.

Saffert, A. S., Schmailzl, M., Spitzhirn, M. & Linner, T. (2024). A Cyber-Physical Toolbox for Teaching Digital Construction – Technical Configuration, Learning Tactics and Hands-On Testing and Evaluation in Dedicated Courses. In: S. Thiede & E. Lutters (Hrsg.): Learning Factories of the Future. CFL 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, 1060. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-65400-8_10

Schönleber, M., Kosara, G., Spitzhirn, M, Saffert, A-S., Pan, W., Gentili, L. & Linner, T. (2026). Vergleich einer bewährten Airless- mit einer robotergestützten Sprühtechnologie mittels digitaler Simulation und Realversuchen. IIC 2025 - Innovation in Digital Factory & Production Planning, Forschungsinsel@IIC, 24.09. - 25.09.2025, Chemnitz

Spitzhirn, M., Halim, J., Bdiwi, M., Keller, N., Hesse, A. (2025). Kollaborative Planung und Simulation von Mensch-Roboter-Interaktionen am Beispiel der Brennstoffzellen-Montage. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 120(6).

Spitzhirn, M., Ullmann, S., Fritzsche, L. (2022). Considering individual abilities and age-related changes in digital production planning – human centred design of industrial work tasks with ema software. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 76, S. 459-477. https://doi.org/10.1007/s41449-022-00343-5

Zentralverband des Deutschen Handwerks (2023). Fachkräftesicherung ist gesamtgesellschaftliche Aufgabe, 26.10.2023.

Danksagung: Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung durch das EU Interreg Projekt Walz 4.0.

Simulation-Based Consistency Analysis between the Postural Hazard Risk Assessment Tool EAWS Part 1 and KIM-ABP

Hsieh-Ching CHEN, Shih-Wei CHEN

Industrial Engineering and Management, National Taipei University of Technology
1, Sec.3, Chung-Hsiao E. Rd., Taipei, Taiwan

Abstract: Repetitive musculoskeletal disorders (MSDs) are the most prevalent occupational diseases worldwide. Among various ergonomic risk factors, awkward postures have emerged as the most frequent hazard type in workplace assessments. To address the need for reliable evaluation tools, this study developed a simulation system using Microsoft Excel VBA to analyze the differences and similarities between two ISO-11226-compliant tools: the European Assembly Worksheet (EAWS) Part 1 and the Key Indicator Method for Awkward Body Postures (KIM-ABP). By mapping 18 $EAWS_1$ posture types to KIM-ABP's three body regions (back, shoulders/arms, and legs) and employing two probability models (uniform and customized discrete distributions), 2,000 simulations were conducted across various work durations (2 to 8 hours) and sampling intervals. Results indicate that KIM-ABP consistently overestimates risk compared to $EAWS_1$, particularly at medium to high-risk levels. This discrepancy widens as work duration increases, primarily due to KIM-ABP's high sensitivity to shoulder and upper arm loads. The findings suggest that KIM-ABP may adopt a more conservative risk classification, necessitating careful tool selection in practical ergonomic evaluations. The uninterrupted criterion during work (≥1 min for one-time postures and ≥10 s for repeated postures) is crucial and not negligible.

Keywords: Musculoskeletal hazards, awkward posture, risk assessment

1. Introduction

Work-related Musculoskeletal Disorders (WMSDs), also known as repetitive strain injuries, are among the most prevalent, costly, and widespread occupational diseases, posing significant burdens on workers, industries, and society at large (de Kok et al., 2019; Bhattacharya, 2014). Hundreds of studies have documented associations between WMSDs of the back, upper, and lower extremities and occupational exposures to over-exertion, awkward postures, repetitive motion, vibration, and other physical stressors (Hassani & Karanikas, 2025). Given the complex combinations of task stressors, assessment tools that evaluate the risk of injury from physical activities in the workplace are crucial for identifying the key risks associated with physical tasks. By identifying risk factors, these tools inform employers where to implement preventive or mitigating measures to reduce the risk of musculoskeletal disorders. Therefore, observational assessment tools that possess attributes such as predictive power, robustness, low cost, noninvasiveness, speed, and ease of use are ideal for field assessment (Hamrick, 2006).

The Key Indicator Method (KIM) is a set of assessment tools developed by the German Federal Ministry of Labour and Social Affairs (BAuA) for assessing WMSD

risk. The new KIM released in 2019, KIM_{2019}, consists of six KIM tools for the workload types of lifting, holding, and carrying (KIM-LCH), pulling and pushing (KIM-PP), manual handling operations (KIM-MHO), whole-body forces (KIM-BF), body movement (KIM-BM), and awkward body postures (KIM-ABP) (BAuA, 2019). Due to the integrity of workload types, the KIM_{2019} has become a popular assessment tool for promoting musculoskeletal hazard prevention in Taiwan.

A recent investigation by Taiwan's Occupational Safety and Health Administration across 60 companies found that awkward body postures are the most commonly encountered workload type in workplace ergonomic assessments (OSHA, 2023). The KIM tool suitable for such a workload type is KIM-ABP. However, KIM-ABP has a significantly different scoring system from most of the popular observational assessment tools for awkward body postures, such as REBA (Rapid Entire Body Assessment), RULA (Rapid Upper Limb Assessment), and OWAS (Ovako Working Analysis System) (Karhu et al., 1981; Mcatamney & Corlett, 1993; Hignett S & Mcatamney, 2000). Currently, EAWS (Ergonomic Assessment Worksheet) Part 1 ($EAWS_1$) and the KIM-ABP are the primary tools compliant with ISO-11226 for assessing awkward postures.

$EAWS_1$ is designed for low-force loads (3-4 kg) and evaluates 16 posture categories based on daily cumulative duration and asymmetric factors like twisting or reaching (Schaub, 2007). In contrast, KIM-ABP calculates risk (Risk Score = Intensity × Time Score) by assessing three body regions: Part A (Back), Part B (Shoulders/Arms), and Part C (Legs). While both tools use risk scores to categorize hazards into levels (Low, Medium, High), their scoring mechanisms and sensitivities differ significantly. This study aims to systematically compare these two tools by establishing a posture-mapping relationship and using Monte Carlo simulations to analyze differences in risk ratings across varying work conditions.

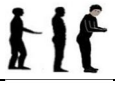
2. Method

This study develops a simulation program using Microsoft Excel VBA. The system mapped 18 refined $EAWS_1$ posture types to KIM-ABP's categories for the back (A1-A5), shoulders (B1-B3), and legs (C1-C2) (Table 1), and conducted a large-scale simulation analysis. The simulations covered all combinations of four work durations (2, 4, 6, and 8 hours) and four sampling intervals (20, 30, 40, and 60 minutes), along with two posture probability models: a uniform distribution and a customized discrete distribution. For each condition, 2,000 posture-time combinations were randomly generated and assessed using both the $EAWS_1$ and KIM-ABP scoring systems to compute risk values and levels:

- $EAWS_1$ Risk Level: Low (<25), Medium (25-50), High (>50).
- KIM-ABP Risk Level: Low (<50), Medium (50-100), High (>100).

The analysis process included posture mapping, probability sampling (Table 2), risk computation, and cross-tool comparison through scatterplots and classification-level analysis.

Tabel 1: *Correspondence between EAWS$_1$ and KIM-ABP defined poses.*

EAWS$_1$		KIM-ABP					
		A		B		C	
Code	Posture	Code	Posture	Code	Posture	Code	Posture
E_1		A_1				C_1	
E_2		A_1				C_1	
$E_{3(a)}$		A_1				C_1	
$E_{3(b)}$		A_2				C_1	
$E_{4(a)}$		A_3				C_1	
$E_{4(b)}$		A_3				C_1	
E_5		A_1		B_1		C_1	
E_6		A_1		B_1		C_1	
E_7		A_5		B_2			
E_8		A_5		B_2			
E_9		A_4		B_2			
E_{10}		A_5		B_1			
E_{11}		A_5		B_1			
E_{12}		A_1		B_2		C_2	
E_{13}		A_4		B_2		C_2	
E_{14}		A_4		B_1		C_2	
E_{15}				B_3			
E_{16}						C_2	

(a) and (b) indicate bend forward without and with suitable support, respectively.

Tabel 2: *Sampling probability range of $EAWS_1$ pose based on the program's random numbers.*

$EAWS_1$ Pose	Uniform distribute	Customized distribute
E_1	0-0.06250	0-0.10000
E_2	0.06250-0.12500	0.10000-0.20000
$E_{3(1)}$	0.12500-0.15625	0.20000-0.26000
$E_{3(2)}$	0.15625-0.18750	0.26000-0.32000
$E_{4(1)}$	0.18750-0.21875	0.32000-0.35750
$E_{4(2)}$	0.21875-0.25000	0.35750-0.41750
E_5	0.25000-0.31250	0.41750-0.45500
E_6	0.31250-0.37500	0.45500-0.46750
E_7	0.37500-0.43750	0.46750-0.56750
E_8	0.43750-0.50000	0.56750-0.66750
E_9	0.50000-0.56250	0.66750-0.76750
E_{10}	0.56250-0.62500	0.76750-0.82750
E_{11}	0.62500-0.68750	0.82750-0.86500
E_{12}	0.68750-0.75000	0.86500-0.92500
E_{13}	0.75000-0.81250	0.92500-0.96250
E_{14}	0.81250-0.87500	0.96250-0.97500
E_{15}	0.87500-0.93750	0.97500-0.98750
E_{16}	0.93750-1.00000	0.98750-1.00000

3. Results

Scatterplots showed a positive correlation between the scores, but with a significant upward shift for KIM-ABP (Figure 1). The overestimation trend remained robust regardless of whether a uniform or customized probability model was used, suggesting the bias is inherent in the tools' scoring logic rather than specific task distributions. As total work duration increases, the discrepancy between the two tools' risk assessments widens, suggesting differing sensitivities to long-term exposure (Figure 2). KIM-ABP's Part B (shoulders and upper arms) contributes disproportionately to overall risk scores, potentially explaining the tool's tendency to overestimate.

4. Discussion and Conclusion

The study confirms that KIM-ABP adopts a more "conservative" or "protective" stance compared to $EAWS_1$. The primary cause of KIM-ABP's higher risk ratings is the heavy weighting assigned to shoulder and upper-arm postures (Part B). While this may ensure better protection for workers, it could also lead to "over-assessment" in industrial settings, potentially triggering unnecessary and costly interventions for tasks that $EAWS_1$ might categorize as acceptable.

This result further indicates that the KIM-ABP criterion, which considers only awkward body postures that must be maintained uninterrupted during work (≥1 min for one-time postures and ≥10 s for repeated postures), is not negligible. Regression analysis estimated that the uninterrupted posture-maintaining criterion of the KIM-ABP reduces its time rating duration to approximately 70% of the EAWS work duration,

potentially improving agreement between the two systems in risk level determination. Further field data are required to validate this finding.

Practitioners should be aware of the characteristics of each tool when performing ergonomic assessments. KIM-ABP is highly sensitive to upper limb loads and total work duration, making it a rigorous choice for ensuring safety. Future research should validate these simulated findings against real-world physiological data to determine which tool more accurately reflects actual physical strain.

***Figure 1**: EAWS$_1$ and KIM-ABP pair-wise risk score scatter plots obtained from 20-minute sampling durations of 2 to 8 hours.*

***Figure 2**: The median and standard deviations of $EAWS_1$ and KIM-ABP risk scores across 4 work durations (2, 4, 6, and 8 hours), with a sampling time unit of 20 minutes.*

5. References

Bhattacharya A (2014) Costs of occupational musculoskeletal disorders (MSDs) in the United States. International Journal of Industrial Ergonomics, 44(3):448-454.

de Kok J, Vroonhof P, Snijders J, Roullis G, Clarke M, Peereboom K, van Dors P, Isusi I (2019) Work-related musculoskeletal disorders: prevalence, costs and demographics in the EU. European Agency for Safety and Health at Work.

Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA) (2019) Risk Assessment with the Key Indicator Methods (KIM), https://www.baua.de/EN/Topics/Work-design/Physical-workload/Key-indicator-method/Key-indicator-method_node.html.

Hamrick C (2006) Overview of Ergonomic Assessment. In: Marras WS & Karwowski W (eds), Fundamentals and assessment tools for occupational ergonomics: 34.1-11. Taylor & Francis.

Hassani M, Karanikas N (2025) Scoping review of studies on work-related musculoskeletal disorders: Quality of evidence, coverage of risk factors and types of risk assessment tools used. Work. Sep 15:10519815251374641. doi: 10.1177/10519815251374641.

Hignett S, Mcatamney L (2000) Rapid entire body assessment (REBA). Applied ergonomics. 31: 201-205. 10.1016/S0003-6870(99)00039-3.

Karhu O, Harkonen R, Sorvali P, Vepsalainen P (1981) Observing working postures in industry: Examples of OWAS application. Applied Ergonomics, 12(1):13-17.

Mcatamney L & Corlett EN (1993) RULA: A survey method for the investigation of related upper limb disorders. Applied Ergonomics, 24(2):91-99.

Occupational Safety and Health Administration (2023) 111-112 Repetitive Operations Hazard Prevention Improvement Plan (Chinese). Research Report of the Occupational Safety and Health Administration, Ministry of Labor, Executive Yuan, Taiwan.

Schaub K, Ghezel-Ahmadi K (2007) Vom AAWS zum EAWS – ein erweitertes Screening-Verfahren für körperliche Belastungen. In: Bericht zum 53. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 28.2.-2.3.2007 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (Hrsg.) von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V., Dortmund, 601–604.

Acknowledgements: We thank the grant support from the Taiwan National Science and Technology Council (NSTC 114-2221-E-027-060) for funding the research.

Ein Konzept zur teilautomatisierten Annotation von Bewegungsdaten für die ergonomische Bewertung von arbeitsbedingten Körperhaltungen

Edgar SCHERSTJANOI, Tong YIN, Svetlana WÄHNERT, Konstantin WAGNER

Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Professur für Arbeitswissenschaft
Marschnerstr. 39, D-01307 Dresden

Kurzfassung: Die ergonomische Bewertung arbeitsbedingter Körperhaltungen kann durch Methoden des maschinellen Lernens deutlich optimiert werden. Eine zentrale Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz ist jedoch das Vorhandensein umfangreicher Datensätze, die eine zuverlässige Generalisierung der trainierten Modelle ermöglichen. Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der Reduktion des Aufwandes, der mit der Aufbereitung von Trainingsdaten einhergeht. Ausgangspunkt ist die Annahme, dass ein Großteil der Körperhaltungen sich einander stark ähneln und es daher genügt, wenige Repräsentative manuell zu kennzeichnen. Zur Gruppierung ähnlicher Körperhaltungen wurden einfache Clustering Algorithmen gewählt. Die Effizienz wurde unter Verwendung von verfügbaren Datensätzen evaluiert, die Arbeitstätigkeiten beinhalten. Die Versuche zeigen, dass bis zu 40% der Daten mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% richtig automatisch annotiert werden.

Schlüsselwörter: Motion Capture, Trainingsdaten, maschinelles Lernen, halb-überwachtes Lernen, digitale Ergonomie

1. Motivation

Bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen besteht das Ziel die physische Belastung einer Tätigkeit zu optimieren. Zur Analyse der arbeitsbedingten Körperhaltungen haben sich die Verfahren OWAS (Ovako Working Posture Analysis System; Karhu et al., 1977) und RULA (Rapid Upper Limb Assessment; McAtamney & Nigel Corlett, 1993) etabliert. Die Methoden wurden zwar ursprünglich als Beobachtungsverfahren entwickelt, sind aber mittlerweile in vielen Softwaresystemen zur Automatisierung einer Risikobewertung umgesetzt. Der bisher übliche Weg besteht darin, die räumliche Ausprägung einzelner Körpersegmente zu erfassen (z. B. mittels Motion Capture – MoCap) und mit definierten Schwellwerten zu vergleichen.

Solche Verfahren erlauben jedoch nur in begrenztem Umfang die Erfahrungen oder kontextabhängige Bewertungsmaßstäbe von Expert:Innen zu berücksichtigen. Methoden des maschinellen Lernens eignen sich wiederum, um dieses individuelle, oft implizite Wissen zu modellieren, indem sie aus Beispielen lernen, welche in der Praxis als relevant erachtet werden. Allerdings erfordert dieser Ansatz umfangreiche, annotierte Daten. Dem steht potenziell eine hohe Redundanz im Datensatz gegenüber, da üblicherweise bei der Ausführung von Arbeitstätigkeiten zahlreiche Wiederholungen ähnlicher Körperhaltungen auftreten. Es ist daher anzunehmen, dass sich eine gezielte Reduktion inhaltlich überflüssiger Daten erheblich auf den Aufwand

des Annotierens auswirken kann. Dieser Beitrag beschreibt und evaluiert ein solches Konzept zur effizienteren Gestaltung von Trainingsdatensätzen.

2. Material und Methode

Digitale Aufnahmen von Körperbewegungen werden meist als Zeitreihen diskreter Körperhaltungen repräsentiert, aus denen sich sowohl die Position als auch die Orientierung spezifischer Körperbereiche bestimmen lassen. Darauf aufbauend können Gelenkrotationen entsprechend der Empfehlung der “International Society of Biomechanics” (ISB) ermittelt werden (Wu et al., 2002, 2005).

Zur Annotation einer Körperhaltung wurde die OWAS-Methode gewählt. Einerseits können durch die skelettale Repräsentation prinzipiell die entsprechenden Merkmale einer Körperhaltung visuell erfasst werden, andererseits weist OWAS eine hohe Inter- und Intra-Rater-Reliabilität auf (Lins et al., 2021). OWAS beschreibt eine Körperhaltung durch drei separate Körperregionen. Üblicherweise wird jede Kategorie mit einem korrespondierenden dreistelligen numerischen Kode notiert - je eine Stelle für Oberkörper, Arm- und Beinstellung (z. B. *1-3-2,* vgl. ebd.*)*.

Die Methode zur Reduktion des Annotationsaufwands folgt dem Paradigma des halb-überwachten Lernens. Abbildung 1 veranschaulicht den Ablauf. Eine nach OWAS annotierte Teilmenge des Datensatzes wird anhand der Gelenkwinkel geclustert. Zur Bewertung der Clusterqualität werden die OWAS-Kodes genutzt. Eine anschließende Zuordnung von unbekannten Frames in homogene Cluster mit hoher Präzision und ausreichender Vollständigkeit führt zur konzipierten automatischen Annotation.

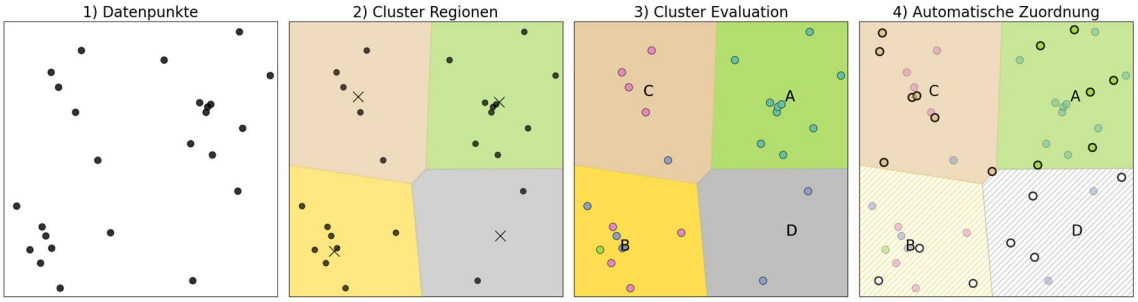


Abbildung 1: *Datenpunkte (1; li) werden mittels k-Means in k Cluster gruppiert (2; k = 4). Anhand vorhandener Labels wird die Clusterqualität bewertet (3; Cluster A und C sind geeignet, B heterogen, D zu klein), sodass neue Daten (4) in geeigneten Clustern automatisch annotiert werden.*

Für die Untersuchung wurden zwei Datensätze mit aufgenommenen Arbeitstätigkeiten verwendet: AnDy (AndyData-lab-onePerson; Maurice et al., 2019) und MMH (Manual Material Handling Dataset; Bassani et al., 2021). AnDy umfasst Aufnahmen von 13 Versuchspersonen, die typische Industrietätigkeiten ausführen, z. B. Schrauben auf unterschiedlichen Höhen oder Handhabung von Lasten. Jede Versuchsperson übte 15 ca. 2-minütige Tätigkeiten aus, wodurch der gesamte Datensatz einen Umfang von etwa 341 Minuten beinhaltet. MMH umfasst ein- und zweihändiges Heben, Senken und Tragen verschiedener Lasten. Insgesamt werden darin 21 Tätigkeiten von 14 Versuchspersonen durchgeführt, wodurch 80 Minuten Bewegungsaufnahmen zur Verfügung stehen. Beide Datensätze wurden mit dem inertialen Erfassungssystem XSens aufgenommen. In Abbildung 2 sind exemplarisch Sequenzen aus diesen beiden Datensätzen dargestellt.

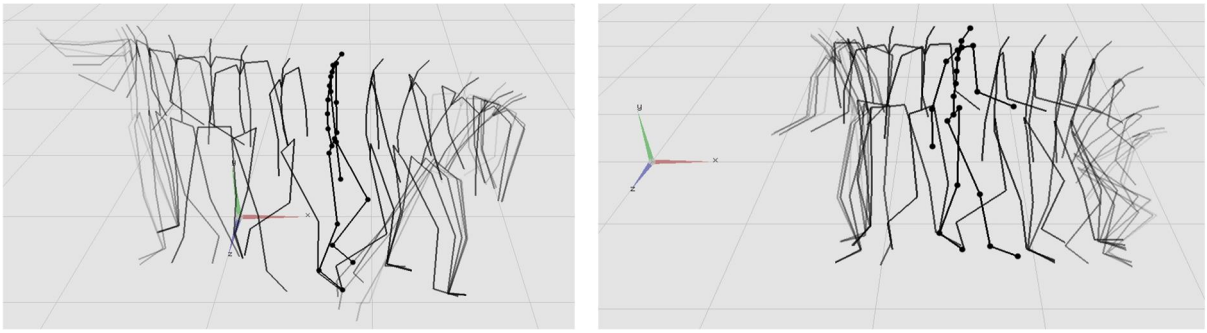


***Abbildung 2**: Darstellung der enthaltenen Bewegungssequenzen in den Datensätzen AnDy (links) und MMH (rechts).*

XSens nutzt im eigenen Datenformat die nach ISB empfohlene Definitionen für 22 Körpergelenke (Smit-Russcher et al., 2025). Diese Gelenkwinkelrotationen einer Körperhaltung wurden als Merkmalsvektor verwendet. Zur Reduktion der Dimensionalität kamen Autoencoder zum Einsatz. Die resultierenden latenten Repräsentationen einer Körperhaltung bildeten die Grundlage für die nachgelagerte Clusterung mittels k-Means. Im Rahmen der Versuche wurde analysiert, welche Parametrierung der Verarbeitungsstruktur geeignet ist, um eine möglichst gute Clusterhomogenität und damit eine zuverlässige automatische Annotation zu erreichen.

Das Versuchsdesign umfasst das halb-überwachte Lernen (vgl. Abbildung 1), d.h. die manuelle Annotation, die systematische Evaluation der Clusterqualität bei unterschiedlicher Parametrisierung und anschließende Zuordnung unbekannter Körperhaltungen zu den erstellen Clustern. Diese Schritte wurden für die Datensätze AnDy und MMH unabhängig voneinander durchgeführt.

3. Ergebnisse

Aus beiden Datensätzen wurden für die Modellierung der Cluster 1.000 zufällig ausgewählte Frames manuell entsprechend OWAS annotiert. Die daraus resultierende Verteilung der OWAS-Kodes ist in Abbildung 3 dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass eine stark heterogene Verteilung der Körperhaltungen auftritt und viele der OWAS-Kodes gar nicht enthalten sind. In beiden Datensätzen ist das aufrechte Stehen, ohne Beugung des Rückens und mit beiden Händen unterhalb der Schultern (OWAS-Kode *1-1-2*) die dominante Körperhaltung. Die Körperhaltungen in AnDy fallen deutlich varianter aus. Es sind beispielsweise auch solche enthalten, bei denen eine Handhabungshöhe oberhalb der Schultern erforderlich war (z. B. *1-2-2* und *1-3-2*).

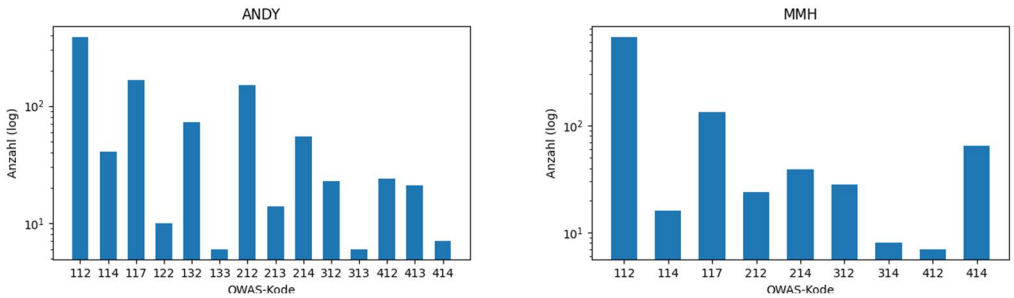


***Abbildung 3**: Verteilung (log) der OWAS-Kodes nach manueller Annotation von 1000 Frames in den Datensätzen AnDy (links) und MMH (rechts).*

Das Ziel der anschließenden Evaluation war es, ein Clustermodell mit hoher Präzision zu finden. Cluster, deren Anteil des dominanten OWAS-Kodes größer als 90% war und dabei mindestens 10% der annotierten Frames eines OWAS-Kodes beinhalteten, wurden als zuverlässige Cluster für die anschließende Zuordnung verwendet. Cluster mit weniger als fünf Frames wurden ausgeschlossen.

Für beide Datensätze erzielten flache Autoencoder mit k = 50 Clustern diesbezüglich die besten Ergebnisse. Für MMH konnten so 433 Frames in sieben Clustern mit drei unterschiedlichen OWAS-Kategorien (*1-1-2*, *2-1-4*, *4-1-4*) zugeordnet werden. Im AnDy-Datensatz umfasste das Modell 384 Frames in sechs Clustern mit vier OWAS-Kategorien (*1-1-2*, *1-3-2*, *2-1-2*, *2-1-4*).

Die Clustermodelle wurden anschließend für die Zuordnung von 100.000 zufällig ausgewählten Frames angewendet. Abbildung 4 zeigt exemplarisch zur Clusterbildung genutzte (links) und neu zugeordnete Körperhaltungen der Datensätze (rechts).

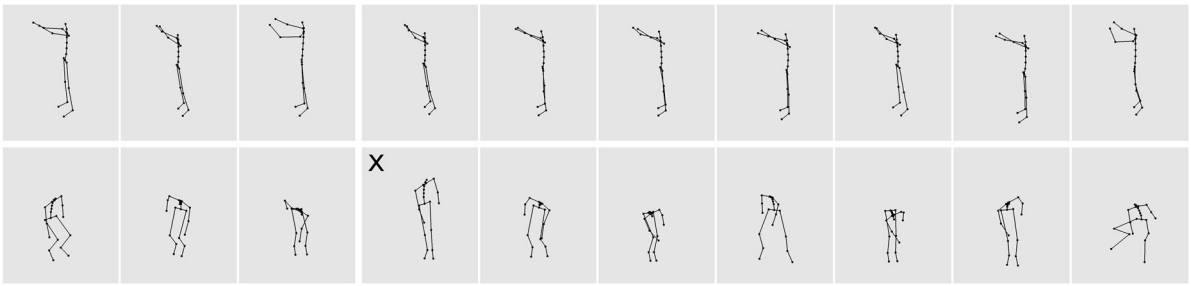


***Abbildung 4**: Frames aus AnDy (erste Reihe) und MMH (zweite Reihe), die zur Clusterbildung verwendet wurden (jeweils 3 Bilder links) und Frames, die diesen Clustern zugeordnet wurden (jeweils 7 Bilder rechts). Der Cluster der ersten Reihe erhielt den OWAS-Kode 1-3-2 und die Zweite 4-1-4. Das X markiert eine falsche Zuordnung (4-1-2).*

In Tabelle 1 ist dargestellt, wie hoch der relative Anteil der automatisch zugeordneten Körperhaltungen ist. Für manche OWAS-Kodes sind mehrere Cluster entstanden. *1-1-2* ist am stärksten vertreten. Die Kodes *2-1-4* und *4-1-4* bzw. *1-3-2* und *2-1-2* wurden ebenso erfolgreich zugeordnet, obgleich es nur einen vergleichsweisen geringeren Anteil der Gesamtmenge betrifft. Zudem wurde die Genauigkeit pro Cluster stichprobenartig evaluiert, indem 100 Frames manuell auf eine korrekte Zuordnung überprüft wurden.

Tabelle 1: *Auswertung der Cluster-Modelle bei Anwendung auf unbekannte Frames eines Datensatzes. Für jeden OWAS-Kode ist die Anzahl von Frames pro Cluster, sowie die Genauigkeit anhand der Fehlerrate (falsche Zuordnung pro 100 Frames) angegeben.*

	OWAS-Kode	**Anzahl je Cluster**		**Fehlerrate**
MMH	*1-1-2*	8819; 20241; 9862	38,92%	5%; 4%; 10%
	2-1-4	1026	1,03%	13%
	4-1-4	696; 667; 928	2,29%	8%; 2%; 15%
∑			**42,24%**	**8,14%**
AnDy	*1-1-2*	29924	29,92%	7%
	1-3-2	3061; 1638	4,70%	0%; 1%
	2-1-2	3550; 1533	5,08%	7%; 2%
	2-1-4	551	0,55%	1%
∑			**40,2%**	**3,00%**

In Abbildung 5 sind exemplarisch Körperhaltungen dargestellt, die nicht durch das Clustermodell annotiert werden konnten. Viele dieser Körperhaltungen sind während des Gehens aufgenommen worden und aufgrund der Dynamik durch eine hohe Varianz innerhalb dieser OWAS-Kategorie (- -*7*) gekennzeichnet.

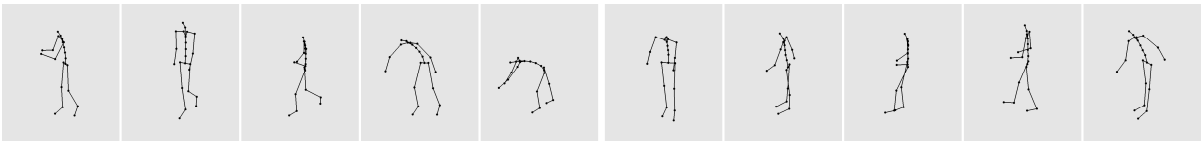


Abbildung 5*: Frames aus AnDy (link) und MMH (rechts), die keinem Cluster zugeordnet werden konnten.*

4. Diskussion und Ausblick

Mit dem vorgestellten Konzept werden Ansätze der digitalen Ergonomie unterstützt, die maschinelles Lernen zur Klassifikation von Körperhaltungen verwenden, aber vor der Problematik unzureichend verfügbarer Trainingsdaten stehen. Mit dem untersuchten Vorgehen kann durch das manuelle Annotieren von 1% der Daten >40% automatisch vervollständigt werden, wobei die zu erwartende Fehlerrate bei ~5% liegt.

Da für halb-überwachtes Lernen die Präzision der Trainingsdaten eine enorm hohe Rolle spielt, müsste in weiterführenden Arbeiten die Fehlerrate reduziert bzw. der Automatisierungsgrad erhöht werden. Möglich wäre dies durch Augmentierung der manuell annotierten Daten. Insbesondere durch sagittale Spiegelung einer Körperhaltung kann eine Invarianz bzgl. der Körpersymmetrie erreicht werden, die für ergonomische Methoden auch üblich ist. Außerdem stehen weitere Werkzeuge zur Clusterbildung zur Verfügung wie etwa Deep Embedded Clustering (Xie et al., 2015), wodurch eine Verbesserung der Clusterqualität zu erwarten ist.

Das entwickelte Konzept ist dennoch einfach implementierbar, flexibel einsetzbar und bietet somit eine gute Grundlage für die Weiterentwicklung zum halb-überwachten maschinellen Lernen im Kontext der ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen und Arbeitsprozessen.

5. Literatur

Bassani, G., Filippeschi, A., & Avizzano, C. A. (2021). A Dataset of Human Motion and Muscular Activities in Manual Material Handling Tasks for Biomechanical and Ergonomic Analyses. IEEE Sensors Journal, 21(21), 24731–24739. https://doi.org/10.1109/JSEN.2021.3113123

Karhu, O., Kansi, P., & Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. Applied Ergonomics, 8(4), 199–201. https://doi.org/10.1016/0003-6870(77)90164-8

Lins, C., Fudickar, S., & Hein, A. (2021). OWAS inter-rater reliability. Applied Ergonomics, 93, 103357. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103357

Maurice, P., Malaisé, A., Amiot, C., Paris, N., Richard, G.-J., Rochel, O., & Ivaldi, S. (2019). Human movement and ergonomics: An industry-oriented dataset for collaborative robotics. The International Journal of Robotics Research, 38(14), 1529–1537. https://doi.org/10.1177/0278364919882089

McAtamney, L., & Nigel Corlett, E. (1993). RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. Applied Ergonomics, 24(2), 91–99. https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90080-S

Smit-Russcher, R., Princelle, D., & Bilal, I. (2025). MVN white paper: Enhancing motion tracking accuracy with novel gender-specific models.

Wu, G., Siegler, S., Allard, P., Kirtley, C., Leardini, A., Rosenbaum, D., Whittle, M., D'Lima, D. D., Cristofolini, L., Witte, H., Schmid, O., & Stokes, I. (2002). ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—part I: Ankle, hip, and spine. Journal of Biomechanics, 35(4), 543–548. https://doi.org/10.1016/S0021-9290(01)00222-6

Wu, G., Van Der Helm, F. C. T., (DirkJan) Veeger, H. E. J., Makhsous, M., Van Roy, P., Anglin, C., Nagels, J., Karduna, A. R., McQuade, K., Wang, X., Werner, F. W., & Buchholz, B. (2005). ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: Shoulder, elbow, wrist and hand. Journal of Biomechanics, 38(5), 981–992. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.05.042

Xie, J., Girshick, R., & Farhadi, A. (2015). Unsupervised Deep Embedding for Clustering Analysis. arXiv. https://doi.org/10.48550/ARXIV.1511.06335

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – 542857478

Evaluation objektiver Messansätze zur Erfassung der Sitzkinematik bei standardisierter Bildschirmarbeit

Moritz GEBERT, Alexander MERTENS, Verena NITSCH

Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University
Eilfschornsteinstr. 18, D-52062 Aachen

Kurzfassung: Die Befundlage zu Zusammenhängen zwischen Sitz-kinematik und muskuloskelettaler Gesundheit ist begrenzt. Die bisherige Forschung, überwiegend kurzzeitig und laborbasiert, stützt sich auf zwei Ansätze: die Messung der Wirbelsäulenkinematik sowie der Sitzflächendruckverteilung. Ein direkter methodischer Vergleich fehlt jedoch. Um für zukünftige Feldstudien geeignete Sensorik zu identifizieren, wurde ein Vergleich von drei Sensorsystemen durchgeführt: (1) Erfassung des Lumbalwinkels mittels Accelerometern, (2) Sitzflächendruckmessung mittels einer Druckmessmatte und (3) eine am Brustbein getragene Inertialmesseinheit. 42 gesunde Erwachsene führten über zwei Stunden standardisierte Büro-Bildschirmarbeit durch, wobei alle 20 Minuten der gesamtkörperliche Diskomfort erhoben wurde. Alle drei Systeme bildeten interindividuelle Unterschiede der Sitzkinematik zuverlässig ab und zeigten zeitlich eine überwiegend moderate bis hohe Übereinstimmung. Die lumbale Sensorik wies die stärkste Assoziation mit dem Diskomfortverlauf auf, gefolgt von der IMU, während die Druckmessmatte die schwächsten Zusammenhänge zeigte, bei insgesamt moderaten Unterschieden zwischen den Systemen.

Schlüsselwörter: Sitzkinematik, Bildschirmarbeit, Sensorvergleich, Sitzdruckmatte, Wirbelsäulenkinematik, Diskomfort

1. Einleitung

Im Zuge der fortschreitenden Automatisierung und Digitalisierung nehmen sitzende Büro- und Bildschirmtätigkeiten, und damit auch die tägliche Sitzzeit, stetig zu (Church et al., 2011; Froböse & Wallmann-Sperlich, 2023; Moreno-Llamas et al., 2020). Prolongiertes Sitzen ist mit zahlreichen gesundheitlichen Risiken assoziiert, wobei muskuloskelettale Beschwerden, insbesondere Rückenschmerzen, zu den häufigsten und kostenintensivsten Problemen zählen (Janwantanakul et al., 2008; Juul-Kristensen et al., 2004). Die Befundlage zu Zusammenhängen zwischen Sitzkinematik und muskuloskelettalen Beschwerden ist bislang begrenzt und basiert überwiegend auf kurzfristigen, meist laborbasierten Studien, sodass langfristige Wirkzusammenhänge weiterhin unklar sind (Arippa et al., 2022; Bontrup et al., 2019; Greene et al., 2019; Kett et al., 2021). Zudem ist die bisher eingesetzte Messmethodik heterogen und deren Feldtauglichkeit limitiert. Etablierte Verfahren sind kostenintensiv, apparativ aufwendig oder körperlich einschränkend. Die bisherigen Messansätze lassen sich im Wesentlichen zwei Gruppen zuordnen: (1) Verfahren zur Erfassung der Wirbelsäulenkinematik und (2) der Sitzflächendruckverteilung. Für beide Ansätze sind die beobachteten Zusammenhänge mit muskuloskelettalen Beschwerden jedoch heterogen (Akkarakittichoke et al., 2023; Arippa et al., 2022; Bontrup et al., 2019; Dunk & Callaghan, 2010;

Greene et al., 2019; Kett et al., 2021). Ein direkter methodischer Vergleich beider Ansätze fehlt, wodurch die Ergebnisse schwer vergleichbar bleiben.

Ziel dieses Beitrags ist es, drei Sensorsysteme hinsichtlich ihrer Eignung zur Erfassung kinematischer Kennwerte während sitzender Bildschirmarbeit zu vergleichen: (1) eine Sitzdruckmatte zur Analyse der Druckverteilung der Sitzfläche, (2) Accelerometer zur Erfassung der Lumbalwirbelsäulenkinematik, sowie (3) eine am Brustbein angebrachte Inertialmesseinheit (IMU) als potenziell praxistaugliche Option für Langzeitmessungen.

Obwohl alle drei Systeme dasselbe Sitzverhalten erfassen, bilden sie unterschiedliche Ebenen davon ab. Die Lumbalsensoren erfassen vorwiegend die Bewegungen der Lendenwirbelsäule, die IMU die resultierende Ausrichtung des Oberkörpers im Raum, und die Sitzdruckmatte die daraus entstehende Verlagerung der Kontaktkräfte an der Sitzfläche (Bisi & Stagni, 2025). Entsprechend stellt sich die Frage, wie sich Sensitivität und Informationsgehalt der abgeleiteten Kennwerte zwischen den Messansätzen unterscheiden. Dieser Beitrag präsentiert einen direkten Vergleich dieser Messkonzepte und bewertet ihre Eignung zur Erfassung von Sitzkinematik im Hinblick auf die Abbildung individueller Bewegungsmuster sowie deren Zusammenhang mit subjektivem muskuloskelettalen Diskomfort. Damit soll eine methodische Grundlage zur Einordnung bisheriger Befunde und zur Konzeption zukünftiger Studien, insbesondere von Langzeit-Feldstudien, geschaffen werden.

2. Methodik

2.1 Experimentales Setup

An der Studie nahmen 42 gesunde Erwachsene ohne akute oder chronische muskuloskelettale Beschwerden teil (Alter: 26,4 ± 6,8 Jahre [19-59], Körpergröße: 174,1 ± 9,3 cm [156–190], Körpergewicht: 74,6 ± 14,0 kg [46,5-118,6]). Jede Versuchsperson absolvierte eine zweistündige standardisierte Bildschirmarbeit an einem Büroarbeitsplatz. Die Arbeitsaufgabe umfasste drei aufeinanderfolgende 40-minütige Blöcke (Text- und Kommunikationsaufgaben, Tabellen- und Datenanalysen, Recherche- und Entscheidungsaufgaben). Die Probanden waren instruiert, durchgehend zu sitzen, wobei sie sich frei bewegen konnten. Kurzzeitiges Aufstehen war zur Repositionierung zulässig. Der subjektiv empfundene muskuloskelettale Gesamtdiskomfort wurde zu Beginn und anschließend alle 20 Minuten mithilfe der Borg-CR10-Skala erhoben. Die Sitzkinematik wurde parallel mit drei Sensorsystemen erfasst: einer Sitzdruckmatte (CONFORMat, Tekscan Inc., Norwood, MA, USA), zwei Accelerometer (Fibion SENS, Fibion Inc., Jyväskylä, Finnland) auf Höhe des 1. Sakralwirbels (S1) und des 1. Lendenwirbels (L1) zur Bestimmung des Lumbalwinkels (im Folgenden Lumbar), sowie einer am Brustbein angebrachten IMU (myoMOTION, Noraxon USA Inc., Scottsdale, AZ, USA). Die Studie wurde von der fakultätsübergreifenden Ethikkommission der RWTH Aachen genehmigt. Alle Teilnehmenden gaben schriftliche Einwilligung.

2.2 Datenverarbeitung

Die Daten der IMU wurden mit 100 Hz aufgezeichnet, Druckmatte und Accelerometer mit 25 Hz. Alle Signale wurden mit einem 2-Hz-Butterworth-Tiefpass gefiltert und auf 5 Hz heruntergetastet. Aus den Accelerometern wurden Pitch- und Roll-Winkel

bestimmt und daraus ein Lumbalwinkel (L1-S1) für Flexion/Extension (anterior-posterior (AP)) sowie Lateralflexion (medio-lateral (ML)) berechnet. Für die IMU wurden die Pitch- bzw. Roll-Winkel der Herstellersoftware analog als AP- bzw. ML-Signal verwendet. Aus der Druckmatte wurde der Center of Pressure in AP- und ML-Richtung berechnet. Damit lagen für alle Sensorsysteme vergleichbare Zeitreihen in AP und ML vor. Für alle drei Sensorsysteme wurden pro 20-Minuten-Intervall folgende kinematische Kennwerte bestimmt: Mittelwert (Mean), Standardabweichung (SD), Pfadlänge (Path), Sample Entropie (SampEn) sowie die Anzahl der Bewegungen auf dem Stuhl (nShift). Die Detektion von nShift basierte auf in der Literatur beschriebenen Verfahren für Lumbalwinkel (Dunk & Callaghan, 2010) und Druckmatten (Arippa et al., 2022). Der für den Lumbalwinkel definierte Ansatz wurde dabei analog auf das IMU-Signal übertragen.

2.3 Statistische Auswertung

Zur Beurteilung der Ähnlichkeit der zeitlichen Verläufe der Kennwerte zwischen den Sensorsystemen wurden für jeden Kennwert und jedes Sensorpaar (IMU-Lumbar, IMU-Matte, Lumbar-Matte) personenweise Pearson-Korrelationen über alle Messintervalle berechnet und anschließend über alle Personen gemittelt. Zur Bewertung der interindividuellen Differenzierungsfähigkeit der Sensorsysteme wurde die Intraklassenkorrelation (ICC) berechnet, definiert als das Verhältnis der Varianz der Personenmittelwerte zur Gesamtvarianz (Summe aus Between- und Within-Varianz).
Die Zusammenhänge zwischen Kinematik und gesamtkörperlichem Diskomfort wurden anhand von Pearson-Korrelationen zwischen den kinematischen Kennwerten und dem Diskomfort untersucht, getrennt nach Sensorsystem und Ebene (AP, ML). Zur Kontrolle der Alpha-Fehlerinflation wurde für jedes Outcome eine FDR-Korrektur nach Benjamini–Hochberg über alle Kennwert-Sensor-Kombinationen angewendet (α = 0,05). Zur Bewertung des Beitrags der Sensorsysteme zur Erklärung des Diskomfortverlaufs wurden je Sensor lineare Mixed-Effects-Modelle berechnet. Als Referenz wurde ein Basismodell ohne kinematische Prädiktoren spezifiziert (Baseline-Diskomfort, Messintervall, Alter, BMI und Geschlecht als fixe Effekte; zufälliger Interzept pro Person). Die kinematischen Modelle erweiterten dieses Basismodell um die in Abschnitt 2.2 beschriebenen Kennwerte. Kontinuierliche Prädiktoren wurden z-standardisiert. Der zusätzliche Nutzen der Sensorsysteme wurde über Modellvergleiche mit und ohne kinematische Prädiktoren beurteilt (ΔAIC, ΔR^2 marg nach Nakagawa & Schielzeth, 2013). Alle Analysen erfolgten in Python (statsmodels). Modellannahmen wurden anhand von Residuenplots, Histogrammen/Normal-Q–Q-Plots und Shapiro–Wilk-Tests geprüft.

3. Ergebnisse

Die ICC lagen für alle Sensorsysteme überwiegend im moderaten bis hohen Bereich (Tabelle 1) und zeigten damit eine gute interindividuelle Differenzierbarkeit der Kennwerte. Besonders hohe ICC-Werte zeigten Mean und Path. Die personenweise Übereinstimmung der zeitlichen Verläufe der Kennwerte zwischen Sensorsystemen war für Path, SD und nShift moderat bis hoch (r = 0,35 - 0,75), während Mean und SampEn deutlich geringere Übereinstimmung zeigten. Insgesamt erfassen alle drei Systeme ähnliche Verläufe, unterscheiden sich jedoch in ihren absoluten Niveaus.

Tabelle 1: *Intraklassenkorrelationen (ICC) der kinematischen Kennwerte je Sensorsystem sowie mittlere personenweise Übereinstimmung der zeitlichen Verläufe zwischen Sensorpaaren (Pearson-r) über alle Messintervalle.*

Kenn-wert	Ebene	ICC IMU	ICC Lumbar	ICC Matte	r(IMU-Lumbar)	r(IMU-Matte)	r(Lumbar-Matte)
Mean	AP	0,82	0,85	0,72	−0,01	0,04	0,14
	ML	0,84	0,87	0,74	0,09	0,02	−0,05
Path	AP	0,82	0,67	0,73	0,70	0,62	0,66
	ML	0,75	0,72	0,71	0,63	0,74	0,65
SD	AP	0,52	0,55	0,45	0,56	0,36	0,47
	ML	0,49	0,50	0,52	0,37	0,41	0,35
SampEn	AP	0,55	0,58	0,41	0,11	0,13	0,24
	ML	0,55	0,68	0,43	0,13	0,50	0,21
nShift	AP	0,57	0,55	0,67	0,58	0,57	0,56

Auf Ebene der einfachen Korrelationen (Tabelle 2) zeigten Path (AP/ML) und nShift (AP) in allen drei Sensorsystemen konsistent signifikante positive Zusammenhänge mit Diskomfort (r jeweils im moderaten Bereich nach FDR-Korrektur) und SD (AP/ML) überwiegend positive, teils nicht signifikante Korrelationen. Mean und SampEn waren demgegenüber weitgehend schwach oder inkonsistent mit Diskomfort assoziiert. Eine deutliche negative Korrelation ergab sich lediglich für Mean ML der Sitzdruckmatte. Über alle Kennwerte hinweg wies die Lumbalsensorik tendenziell die höchsten, die Sitzdruckmatte die niedrigsten Korrelationskoeffizienten auf, bei insgesamt nur moderaten Unterschieden zwischen den Sensorsystemen.

Tabelle 2: *Pearson-Korrelationen (r) zwischen kinematischen Kennwerten und gesamtkörperlichem Diskomfort getrennt nach Sensorsystem und Ebene. Signifikanz nach FDR-Korrektur; * p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001.*

Kennwert	Ebene	IMU	Lumbar	Matte
Mean	AP	0,02	-0,01	0,06
	ML	0	0,08	-0,33***
Path	AP	0,31***	0,35***	0,26***
	ML	0,38***	0,42***	0,24***
SD	AP	0,28***	0,41***	0,14
	ML	0,28***	0,07	0,24***
SampEn	AP	-0,09	0,06	0,01
	ML	-0,02	0,36***	0
nShift	AP	0,33***	0,39***	0,30***

Die Mixed-Effects-Modelle zeigten, dass der zeitliche Verlauf des gesamten Diskomforts bereits durch Baseline-Diskomfort, Messintervall sowie Alter, BMI und Geschlecht gut erklärt wird (marginales $R^2 = 0,372$; konditionales $R^2 = 0,87$). Die Einbindung der kinematischen Parameter führte je nach Sensorsystem zu einem zusätzlichen, wenn auch moderaten Zugewinn an erklärter Fixeffekt-Varianz. Die stärkste Verbesserung zeigte die Lumbalsensorik (ΔR^2 marg = 0,11; ΔAIC = −3,6), gefolgt von der IMU (ΔR^2 marg = 0,04; ΔAIC = −6,0). Die Sitzdruckmatte führte ebenfalls zu einem kleinen Anstieg des marginalen R^2 (ΔR^2 marg = 0,04), verschlechterte jedoch die Modellgüte nach AIC (ΔAIC = +5,0).

Tabelle 3: *Mixed-Effects-Modelle zur Erklärung des Gesamtdiskomforts. Modellgüte und Zusatznutzen kinematischer Prädiktoren je Sensorsystem.*

Sensor	AIC + Kinematik	ΔAIC	R^2 marg + Kin	ΔR^2 marg	R^2 cond + Kin
IMU	768,96	−6,02	0,416	0,045	0,882
Lumbar	771,41	−3,57	0,486	0,114	0,876
Matte	779,97	4,99	0,411	0,039	0,876

4. Diskussion

Die zeitlichen Verläufe der meisten Kennwerte stimmten zwischen den Sensorpaaren moderat bis hoch überein, während Mittelwerte aufgrund der unterschiedlichen Bezugssysteme erwartungsgemäß deutlich geringere Übereinstimmung zeigten. Die Systeme erfassen damit ähnliche Bewegungsmuster, unterscheiden sich jedoch im absoluten Niveau. Alle drei Sensorsysteme zeigten moderate bis hohe ICC-Werte und konnten damit interindividuelle Varianzen in der Sitzkinematik abbilden. Tendenziell lagen die ICCs der Lumbalsensoren dabei am höchsten, gefolgt von IMU und Sitzdruckmatte. Ein entsprechendes Muster ergab sich auch für die Zusammenhänge zum subjektiven Gesamtdiskomfort, sowohl in den Korrelationen als auch in den Mixed-Effects-Modellen.

Insgesamt deutet dies darauf hin, dass lumbale Kinematik in diesem Datensatz den höchsten Informationsgehalt für die Abbildung von Sitzverhalten und Diskomfortverlauf liefert. Vor dem Hintergrund der hohen Relevanz lumbaler Beschwerden bei Büro- und Bildschirmarbeit spricht dies für die praktische Bedeutung einer Erfassung der Lendenwirbelsäulenkinematik (Janwantanakul et al., 2008). Da IMU und Sitzdruckmatte lumbale Bewegungen nur indirekt abbilden, erscheint die beobachtete Rangfolge der Sensorsysteme auch konzeptionell plausibel. Gleichzeitig sprechen die insgesamt moderaten Unterschiede dafür, dass eine einzelne, am Oberkörper getragene IMU einen praktikablen Kompromiss zwischen Praxistauglichkeit und Informationsgehalt für Langzeitstudien darstellen kann (Bontrup et al., 2019). Im Vergleich zur lumbalen Sensorik ist sie einfacher anzubringen und deutlich weniger einschränkend, da kein störender Kontakt zur Rückenlehne besteht, der das Bewegungsverhalten einschränkt. Zudem ermöglicht sie, im Gegensatz zur stationären Sitzdruckmatte, eine kosteneffiziente und lückenlose Erfassung der Kinematik, die auch Phasen außerhalb des Stuhls einschließt.

Bei der Interpretation der Ergebnisse sind allerdings die Einschränkungen der Studie zu berücksichtigen. Untersucht wurde eine zweistündige Laborsituation mit gesunden, überwiegend jungen Erwachsenen, sodass Aussagen zu längerfristigen Effekten, klinischen Populationen und realen Arbeitsplatzbedingungen nur eingeschränkt möglich und nicht generalisierbar sind. Zudem basiert die Einschätzung der muskuloskelettalen Belastung auf selbstberichteten Diskomfortratings und stellt damit ein subjektives Maß dar. Die Wahl der Kennwerte und Methoden orientierte sich zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit an der aktuellen Forschung (Arippa et al., 2022; Bontrup et al., 2019; Greene et al., 2019; Kett et al., 2021). Dieser Fokus könnte jedoch das spezifische Potenzial einzelner Sensoren unterschätzen, da beispielsweise komplexere Druckverteilungskennwerte unberücksichtigt blieben. Zudem könnten die verwendeten linearen Modelle physiologisch plausible nicht-lineare Zusammenhänge maskieren. Zukünftige Analysen sollten daher gezielt solche komplexen Muster und sensorspezifischen Metriken prüfen. Vor diesem Hintergrund erlauben die Ergebnisse keine

definitiven Schlussfolgerungen, deuten jedoch darauf hin, dass alle untersuchten Sensorsysteme prinzipiell zur quantitativen Erfassung der Sitzkinematik und ihrer Beziehung zu subjektivem Diskomfort geeignet sind.

5. Literatur

Arippa, F., Nguyen, A., Pau, M., & Harris-Adamson, C. (2022). Postural strategies among office workers during a prolonged sitting bout. Applied Ergonomics, 102, 103723.

Bisi, M. C., & Stagni, R. (2025). Is IMU- alternative to GRF-based posturography? A comparative assessment on young healthy adults. Journal of Biomechanics, 185, 112687.

Bontrup, C., Taylor, W. R., Fliesser, M., Visscher, R., Green, T., Wippert, P.-M., & Zemp, R. (2019). Low back pain and its relationship with sitting behaviour among sedentary office workers. Applied Ergonomics, 81, 102894.

Church, T. S., Thomas, D. M., Tudor-Locke, C., Katzmarzyk, P. T., Earnest, C. P., Rodarte, R. Q., Martin, C. K., Blair, S. N., & Bouchard, C. (2011). Trends over 5 Decades in U.S. Occupation-Related Physical Activity and Their Associations with Obesity. PLoS ONE, 6(5), e19657.

Dunk, N. M., & Callaghan, J. P. (2010). Lumbar spine movement patterns during prolonged sitting differentiate low back pain developers from matched asymptomatic controls. Work, 35(1), 3–14.

Froböse, I., & Wallmann-Sperlich, B. (2023). Der DKV-Report 2023—Wie gesund lebt Deutschland?

Greene, R. D., Frey, M., Attarsharghi, S., Snow, J. C., Barrett, M., & De Carvalho, D. (2019). Transient perceived back pain induced by prolonged sitting in a backless office chair: Are biomechanical factors involved? Ergonomics, 62(11), 1415–1425.

Janwantanakul, P., Pensri, P., Jiamjarasrangsri, V., & Sinsongsook, T. (2008). Prevalence of self-reported musculoskeletal symptoms among office workers. Occupational Medicine, 58(6), 436–438.

Juul-Kristensen, B., Søgaard, K., Strøyer, J., & Jensen, C. (2004). Computer users' risk factors for developing shoulder, elbow and back symptoms. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 30(5), 390–398.

Kett, A. R., Sichting, F., & Milani, T. L. (2021). The Effect of Sitting Posture and Postural Activity on Low Back Muscle Stiffness. Biomechanics, 1(2), Article 2.

Moreno-Llamas, A., García-Mayor, J., & De la Cruz-Sánchez, E. (2020). The impact of digital technology development on sitting time across europe. Technology in Society, 63, 101406.

Nakagawa, S., & Schielzeth, H. (2013). A general and simple method for obtaining R2 from generalized linear mixed-effects models. Methods in Ecology and Evolution, 4(2), 133–142.

Förderhinweis: Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „Arbeits-wissenschaftliche Kompetenzzentrum für Erwerbsarbeit in der Industrie 4.0“ (AKzentE4.0). Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde durch das Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) im Programm „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut (Förderkennzeichen: 02L19C400). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Biomechanische Untersuchung des Hand-Arm-Schulter-Systems bei Montagearbeiten mit handgeführten Arbeitsmitteln

Aydin ÜNLÜ, Karsten KLUTH

Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie, Universität Siegen
Paul-Bonatz-Straße 9-11, D-57068 Siegen

Kurzfassung: Schraubprozesse mit handgeführten Arbeitsmitteln können zu erhöhten Beanspruchungen des Hand-Arm-Schulter-Systems (HAS) führen. Der Beitrag stellt einen simulationsgestützten Ansatz zur Handhabungsanalyse in OpenSim bei der Nutzung eines Akkuschraubers vor. Grundlage ist eine Untersuchung mit acht Probanden, in der Bewegungsdaten mittels Inertialmesseinheiten (IMU) sowie Muskelaktivitäten mittels Oberflächenelektromyographie (OEMG) erfasst wurden. Analysiert wurde eine Verschraubung mit acht Schrauben an einer vertikalen Platte (90°) in Schulterhöhe. In der Simulation wurden modellbasierte Muskelaktivierungen für die Schraubphasen abgeleitet und den Messdaten qualitativ gegenübergestellt. Die Ergebnisse zeigen das Potenzial des simulativen Ansatzes, machen jedoch Limitationen deutlich, insbesondere durch vereinfachte externe Lastannahmen sowie fehlende Greif- und Betätigungskräfte.

Schlüsselwörter: Hand-Arm-Schulter-System (HAS), Schraubprozess, Bewegungsmessung, Muskelaktivierung, muskuloskelettale Simulation

1. Einleitung

Digitale Menschmodelle und muskuloskelettale Simulationen werden zunehmend eingesetzt, um Belastungen in manuellen Montageprozessen objektiv zu bewerten. Während klassische Ansätze primär Haltungsanalysen unterstützen, ermöglichen muskuloskelettale Modelle zusätzlich die Ableitung zeitabhängiger Gelenkmomente, Gelenkkräfte und Muskelaktivierungen aus Bewegungsdaten (Paul 2021; Neumann 2010). Schraubprozesse mit handgeführten Werkzeugen stellen dabei einen relevanten Anwendungsfall dar, da Schraubposition, Oberarmrotation und Arbeitshöhe die muskuläre Beanspruchung beeinflussen können (Ünlü & Kluth 2025). Neben der kinematischen Komplexität von Schultergürtel und Handgelenk ist die biomechanische Abbildung solcher Tätigkeiten wesentlich durch Kontakt- und Greifbedingungen geprägt, welche in Montageprozessen nur mit erheblichem methodischem Aufwand mess- und modellierbar sind (DGUV 2009).

Für die Analyse des HAS existieren unterschiedliche Modellansätze. Studien zeigen jedoch, dass die Ergebnisse dynamischer Simulationen maßgeblich von der Kinematik, der Parametrisierung und den getroffenen Modellannahmen abhängen (Saul et al. 2015). EMG-getriebene Ansätze können zur Plausibilisierung oder Kalibrierung berechneter Aktivierungsmuster beitragen, erfordern jedoch einen erhöhten Aufwand in Datenerfassung und Parametrierung (Lloyd et al. 2003).

Ergänzend existieren detaillierte Hand- und Fingermodelle, die spezifische Fragestellungen wie Greifdynamik oder Prothetik fokussieren. In montageorientierten Analysen wird daher meist ein Kompromiss gewählt, der eine ausreichende Modelltreue

im HAS bei gleichzeitig begrenzter Handkomplexität ermöglicht, um robuste Auswertungen über mehrere Prozessphasen hinweg durchzuführen (Romero et al. 2022).

Als Basis für diese Studie wird das OpenSim-Modell nach Holzbaur et al. (2005) für die obere Extremität verwendet, das Schulter, Ellenbogen und Handgelenk mit mehreren Freiheitsgraden sowie einer detaillierten Muskelrepräsentation abbildet und damit allgemeine neuromuskuläre Analysen ermöglicht.

2. Bewegungs- und Muskelaktivitätsmessung

Zur Untersuchung der kinematischen und muskulären Beanspruchung beim Schrauben wurde ein Prüfstand mit acht Schraubpositionen (S1–S8) aufgebaut. Abbildung 1 zeigt den Versuchsaufbau in der vertikalen (90°-)Plattenanordnung beispielhaft während der Verschraubung von S1 und S8. Die Schraubpositionen wurden auf einer Platte definiert und die Plattenhöhe für jede Versuchsperson individuell auf Schulterhöhe eingestellt, um vergleichbare Arbeitsbedingungen zu gewährleisten. Die Standposition wurde über eine Bodenmarkierung standardisiert, sodass die Probanden während der Durchführung zentral zur Plattenmittellinie ausgerichtet waren.

Die Schraubaufgabe erfolgte mit einem handgeführten Akkuschrauber in Pistolengriffvariante. Acht Probanden (MW 24 Jahre, SD 2,2 Jahre) bearbeiteten die Schraubpositionen in vorgegebener Reihenfolge. Zudem wurden eine aufrechte Körperhaltung sowie die Verwendung des Akkuschraubers mit dem Handrücken nach oben vorgegeben und überwacht. Pro Schraube wurde eine vergleichbare Einschraubtiefe von ca. 1 cm realisiert.

Zur Standardisierung des Ablaufs wurde ein Taktgeber eingesetzt. Je Schraube waren 5 s Schraubzeit und 3 s für den Positionswechsel vorgesehen. Einschließlich einer Neutralhaltung (N-Pose) zu Beginn und am Ende ergab sich eine Messdauer von etwa 60–70 s pro Durchgang. Die N-Pose diente als definierter Referenzzustand zur zeitlichen Synchronisation von Bewegungs- und Muskelaktivitätserfassung. Jede Versuchsbedingung wurde wiederholt.

Die Ganzkörperbewegung wurde mittels Inertialmesseinheiten (IMU; Xsens) erfasst. Parallel wurden fünf Muskeln des rechten Hand-Arm-Schulter-Systems mittels Oberflächenelektromyographie (OEMG; Noraxon) aufgezeichnet und gemäß der MVC-Methode nach Hermens et al. (2000) normalisiert.

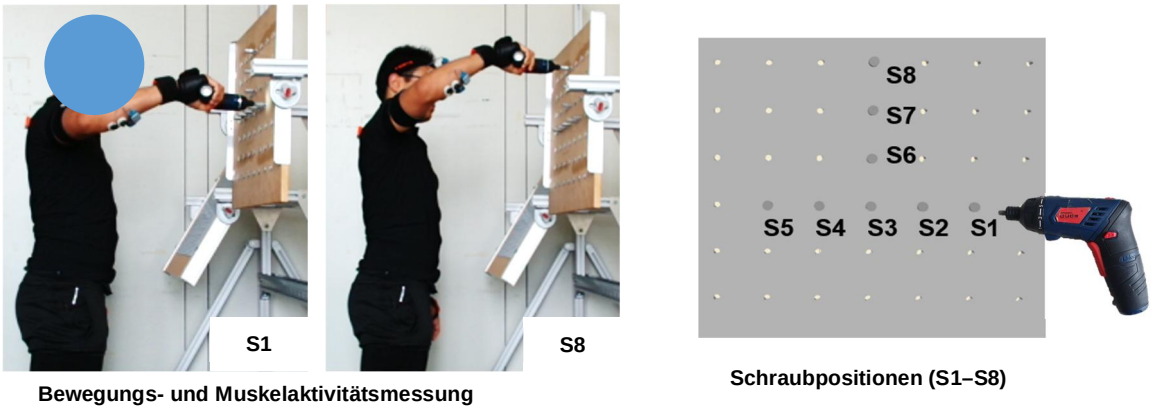


***Abbildung 1**: Versuchsaufbau mit Schraubpositionen S1–S8 sowie exemplarische Hand-Arm-Haltungen einer Versuchsperson in den Positionen S1 und S8.*

Für die simulationsbezogene Weiterverarbeitung wurden die Bewegungsdaten in der Software Mokka manuell segmentiert. Dabei wurde ausschließlich der dynamisch relevante Abschnitt der Schraubsequenz (S1–S8) ohne Stillstandsanteile exportiert. Zusätzlich wurde ein definierter Stillstandsabschnitt zur Modellskalierung bereitgestellt. Die segmentierte Kinematik wurde als Markertrajektorien im TRC-Format ausgegeben. Durch die Standardisierung von Standposition, Reihenfolge, Taktung und Segmentierung konnten die acht Schraubphasen als vergleichbare Analysefenster definiert und zwischen Messung und Simulation konsistent referenziert werden.

3. Biomechanische Simulation

Für die muskuloskelettale Simulation wurde das rechte Hand-Arm-Schulter-System (HAS) des OpenSim-Modells nach Holzbaur et al. (2005) verwendet. Das Modell wurde auf die untersuchte Versuchsperson mit einem Skalierungsfaktor von 1,1 angepasst, um die Gelenkstellungen der rechten oberen Extremität an die Messdaten anzunähern. Als erste Plausibilisierung wurden für Schraubposition S1 ausgewählte Gelenkwinkel an die aus den Xsens-Daten abgeleiteten Haltungsparameter angepasst. Die gemessene Armerhebung betrug 70,76° und wurde im Modell mit etwa 67,5° nachgebildet. Die gemessene Unterarmrotation betrug 11,27° und wurde im Modell mit etwa 13,8° umgesetzt. Die Handgelenkstellung wurde dabei in neutraler Stellung als Startkonfiguration verwendet.

Abbildung 2 zeigt die ausgewählten Muskelgruppen am HAS-Modell (Modell des Hand-Arm-Schulter-Systems) in OpenSim in der Startkonfiguration S1, basierend auf den Bewegungsdaten von VP08. Betrachtet wurden zwei Schultermuskeln, der M. deltoideus pars clavicularis (DELT1) und der M. deltoideus pars acromialis (DELT2), sowie drei Unterarmmuskeln, der M. flexor carpi radialis (FCR), der M. flexor carpi ulnaris (FCU) und der M. extensor digitorum (EDC).

Die inverse Kinematik wurde auf Basis der Markertrajektorien durchgeführt und an den Beginn des dynamischen Bewegungsabschnitts gelegt, um eine stabile Initialisierung zu unterstützen. Zuvor wurden die Bewegungsdaten mittels Python in das Koordinatensystem des Simulationsmodells transformiert. Die Handbewegung wurde primär über Handgelenksmarker und dorsale Handmarker geführt. Die inverse Dynamik (ID) erfolgte auf Basis der mittels inverser Kinematik (IK) berechneten Gelenkkoordinaten, die zuvor mit einer Tiefpassfilterung von 6 Hz gefiltert wurden, sodass darauf basierend Gelenkmomente und -kräfte berechnet werden konnten.

Als Anpresskraft des Akkuschraubers gegen die Schraubplatte wurde eine konstante Kraft von 50 N am Handgelenk angesetzt und mit konstanter Richtung entlang der globalen x-Achse definiert. Greif- und Betätigungskräfte wurden nicht modelliert. Zusätzlich wurde die Werkzeugmasse (ca. 500 g) vernachlässigt und die Gravitation deaktiviert, um den Einfluss der Gravitationslast auf die berechneten Aktivierungsmuster im aktuellen Setup auszuschließen. Der Rumpf wurde kinematisch fixiert, um die gemessene Armbewegung isoliert abzubilden.

Ausgehend von den Ergebnissen der inversen Kinematik (IK) und inversen Dynamik (ID) wurde eine statische Optimierung (SO) durchgeführt, um aus den Körperbewegungen sowie den berechneten Gelenkmomenten und -kräften zeitabhängige Muskelaktivierungen abzuleiten. Zur Auswertung wurden Werte außerhalb des 5.–95. Perzentil-Bandes maskiert und die Aktivierungen anschließend schraubphasenspezifisch (S1–S8) ausgewertet. Pausenintervalle wurden entfernt, sodass pro Schraubpro-

zess ein konsistentes Zeitfenster zur Kennwertbildung vorlag. Die resultierenden Aktivierungen werden als modellinterne Aktivierung (0–1) ausschließlich für Trend- und Mustervergleiche herangezogen, da den OEMG-Werten (%MVC) eine andere Normalisierung zugrunde liegt.

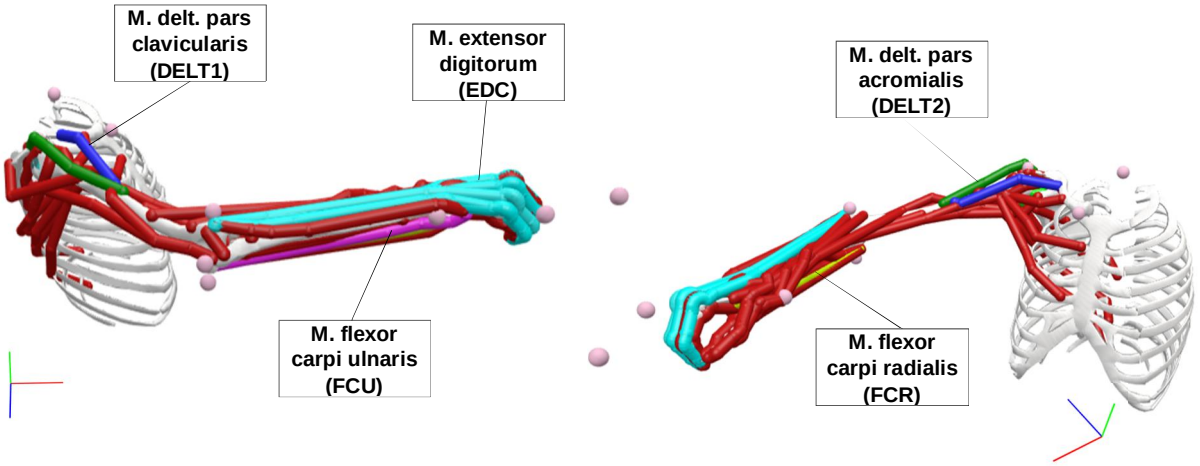


***Abbildung 2**: HAS-Modell mit den fünf ausgewählten Muskeln in der Startpose S1 nach dem Basismodell von Holzbaur et al. (2005). Die pinken Marker zeigen die im Modell definierten Marker zur Ausrichtung an die TRC-Markertrajektorien.*

4. Diskussion der Ergebnisse

Aufgrund der unterschiedlichen Normalisierung der Datensätze werden positionsabhängige Aktivierungsmuster über die Schraubpositionen S1–S8 im Folgenden getrennt für Simulation und Messung beschrieben und anhand der Oberflächendiagramme in Abbildung 3 hinsichtlich der Trend- und Mustervergleiche eingeordnet.

Über alle Schraubpositionen ergibt sich für die mittlere Gesamtaktivierung je Schraube (Mittelwert über die fünf betrachteten Muskeln) in der Simulation ein Mittelwert von 5,82 % mit einer Spanne von 3,10–9,04 %. Das Maximum tritt bei S7 (9,04 %) auf, das Minimum bei S1 (3,10 %). In der OEMG-Messung liegen die Mittelwerte je Schraube im Mittel bei 8,53 % mit einer Spanne von 7,65–9,80 %; das Maximum liegt bei S8 (9,80 %), das Minimum bei S3 (7,65 %).

Für die Schultermuskulatur zeigt die OEMG-Messung einen Höhen- bzw. Positionseffekt. Der vordere Deltamuskel (DELT1) steigt von 10,9 % in S1 auf 13,2 % in S8 an, der mittlere Deltamuskel (DELT2) von 12,3 % in S1 auf 18,7 % in S8, mit den höchsten Werten in den oberen Positionen S7 (17,1 %) und S8 (18,7 %). In der Simulation ergibt sich eine ausgeprägte Umschichtung zwischen beiden Deltoidanteilen. DELT1 nimmt von 11,6 % in S1 auf 3,1 % in S8 ab, während DELT2 von 0,8 % in S1 auf ein Maximum von 16,4 % in S7 ansteigt und bei S8 auf hohem Niveau bleibt (13,8 %).

Für die Unterarmmuskulatur zeigt die Simulation insgesamt niedrige Aktivierungen für FCR und EDC mit nur geringer Variation über S1–S8. FCR liegt im Mittel bei 1,53 % (Bereich 1,0–3,3 %), EDC im Mittel bei 3,47 % (Bereich 0,9–5,7 %). Der FCU weist hingegen einen ausgeprägten positionsabhängigen Peak auf. Ausgehend von 1,1–1,2 % in S1–S2 steigt die FCU-Aktivierung ab S3 an und erreicht bei S4–S7 hohe Werte (16,2–18,0 %), bevor bei S8 ein Rückgang auf 8,3 % auftritt. Im Oberflächendiagramm erscheint dies als zusammenhängender Bereich hoher Aktivierungsklassen (15–20 %)

im FCU-Band über die Schraubpositionen S4–S7. In der OEMG-Messung sind die Aktivierungen der Unterarmmuskeln insgesamt höher und gleichmäßiger verteilt. FCR liegt im Mittel bei 2,41 % (Bereich 1,8–3,3 %), FCU bei 6,37 % (Bereich 5,1–8,2 %). Der EDC zeigt durchgängig hohe Aktivierungen mit einem Mittelwert von 9,78 % und einer Spannweite von 9,1–11,5 %, sodass sich in den Diagrammen ein stabil erhöhtes Aktivierungsniveau über alle Schraubpositionen hinweg ergibt.

Zusammenfassend zeigen beide Datensätze positionsabhängige Muster über S1–S8. In den Oberflächendiagrammen treten insbesondere ein erhöhter Aktivierungsanteil von DELT2 in den oberen Schraubpositionen (S7–S8) sowie ein überwiegend niedriges Aktivierungsniveau von FCR (0–5 %) über alle Positionen hinweg hervor. Darüber hinaus zeigt sich in der Simulation ein lokales Maximum des FCU in den Positionen S4–S7 (15–20 %), während in der Messung EDC und FCU überwiegend im Bereich von 5–10 % liegen. Die dargestellten Muster sind damit geeignet, belastungsrelevante Schraubpositionen und muskelgruppenspezifische Schwerpunkte innerhalb der jeweiligen Datensätze zu identifizieren.

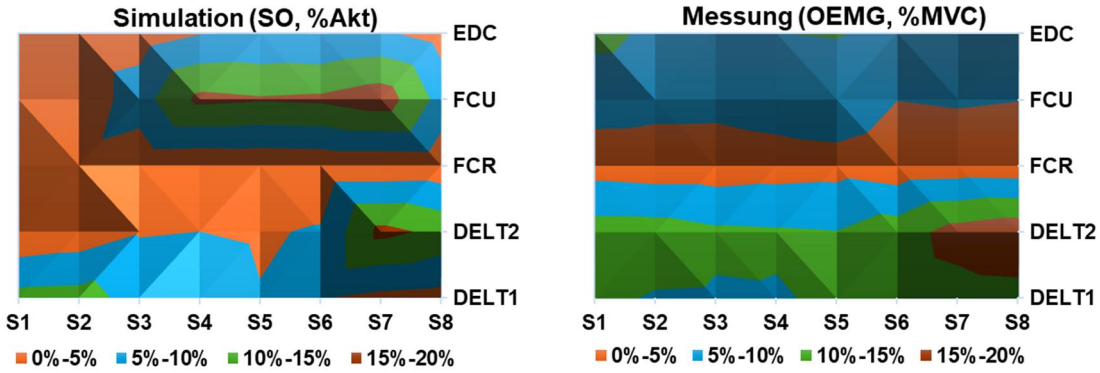


***Abbildung 3**: Muskelaktivierungsklassen über S1–S8 (Simulation: SO, %Akt; Messung: OEMG, %MVC) zur Visualisierung positionsabhängiger Trends.*

5. Schlussfolgerung und Ausblick

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass simulationsgestützte Analysen positionsabhängige Beanspruchungsmuster in Schraubprozessen grundsätzlich sichtbar machen können. Gleichzeitig zeigen die Vergleiche mit den OEMG-Messungen, dass die Abbildung der Unterarmbeanspruchung im vorliegenden Modell limitiert ist und in der Aussagekraft stark von der modellierten Werkzeuginteraktion abhängt. Sofern für diese Konstellation unter Einbeziehung externer Kräfte valide Ergebnisse erzielt werden, sollen anschließend weitere Konstellationen simuliert werden. Der Prüfstand wurde bereits für Messungen zur Handhabungsanalyse mit einem digitalen, anthropometrischen Menschmodell wie zum Beispiel mit ema (Editor menschlicher Arbeit) eingesetzt, wobei zusätzliche Plattenwinkel, Plattenhöhen sowie eine Stabgriffvariante untersucht wurden (Ünlü & Kluth 2025).

Für eine realitätsnähere Beanspruchungsabschätzung im planaren Fall ist zunächst die Erweiterung des Kraftmodells zentral. Dies wird auch durch eine OpenSim-basierte Gesamtkörpersimulation von Molz et al. (2024) gestützt, in der Unterstützungskräfte eines Schulterexoskeletts bei der Anwendung eines Akkuschraubers in einer Überkopfschraubaufgabe zur Abschätzung von Gelenkmomenten und Muskelaktivierungen herangezogen werden. Auch Spengler et al. (2026) zeigen, dass die Einbindung

externer Kräfte in OpenSim entscheidend ist, um die resultierenden Aktivierungsverläufe plausibel abzuleiten. Künftig sollen Greif- und Betätigungskräfte berücksichtigt und als zeitabhängige Kraftvektoren in einem werkzeugfesten Koordinatensystem mit realistischem Angriffspunkt implementiert werden, um entstehende Momente am Handgelenk konsistent abzubilden.

Parallel ist eine schrittweise Validierung und Parametrisierung des HAS-Modells vorgesehen, insbesondere für arbeitsmittelbezogene Tätigkeiten mit Schultergürtel, wobei die vorhandenen IMU- und OEMG-Daten als Vergleichsbasis dienen.

Perspektivisch wird eine Methodik angestrebt, mit der muskuläre Beanspruchungen in Montageprozessen primär aus Bewegungsdaten abgeschätzt werden können. Ergänzend bietet sich die Kopplung mit der digitalen Produktionsgestaltung an, beispielsweise über ema als Planungs- und Visualisierungsumgebung, um Prozessvarianten frühzeitig virtuell zu vergleichen und anschließend biomechanisch im HAS-Modell zu bewerten (Ünlü et al. 2025). Bewegungsdaten aus anthropometrischen Menschmodellen könnten dazu in OpenSim überführt werden, um neben Haltungskennwerten auch muskuläre Beanspruchungen abzuleiten.

6. Literatur

DGUV (2009) Montagespezifischer Kraftatlas – Ermittlung montagespezifischer Kraftdaten. BGIA-Report 3/2009, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA). Verfügbar unter: https://www.dguv.de/ifa/publikationen/reports-download/reports-2009-bis-2010/bgia-report-3-2009/index.jsp [Letzter Zugriff: 03.01.2026].

Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G (2000) Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. Journal of Electromyography and Kinesiology 10:361–374.

Holzbaur KR, Murray WM, Delp SL (2005) A model of the upper extremity for simulating musculo-skeletal surgery and analyzing neuromuscular control. Annals of Biomedical Engineering 33(6):829–840.

Lloyd DG, Besier TF (2003) An EMG-driven musculoskeletal model to estimate muscle forces and knee joint moments. Journal of Biomechanics 36:765–776.

Molz, C., Scherb, D., Löffelmann, C., Sänger, J., Yao, Z., Lindenmann, A. & Miehling, J. (2024). A co-simulation model integrating a musculoskeletal human model with exoskeleton and power tool model. Applied Sciences, 14(6), 2573.

Neumann, D. A. (2010) Kinesiology of the musculoskeletal system: foundations for rehabilitation. In: Mosby Elsevier.

Paul GE (2021) Modeling and simulation of human systems. In: Salvendy G, Karwowski W (Hrsg.) Handbook of Human Factors and Ergonomics. Hoboken: John Wiley, 704–735.

Romero J, Tzionas D, Black MJ (2022) Embodied hands: Modeling and capturing hands and bodies together. ACM Transactions on Graphics 41:1–17.

Saul KR, Hu X, Goehler CM, Vidt ME, Daly M, Velisar A, Murray WM (2015) Benchmarking of dynamic simulation predictions in two software platforms using an upper limb musculoskeletal model. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering 18(13):1445–1458.

Spengler C, Sutschet S, Saucedo A, Fleischer M, Rack R, Bengler K, Matthiesen S (2026) Assessing the suitability of an upper body OpenSim model for simulations of horizontal and overhead drilling use cases. In: International Conference on Human-Computer Interaction. Cham: Springer, 34–49.

Ünlü A, Kluth K (2025) Simulationsgestützter Bewertungsansatz zur ergonomischen Handhabungsanalyse bei Montagewerkzeugen. In: IIC 2025 – Innovation in Digital Factory & Production Planning, Chemnitz, 24.–25.09.2025.

Ünlü A, Spitzhirn M, Ak O, Kluth K (2025) Kombinierte Analyse von Mess- und Simulationswerkzeugen zur ergonomischen Bewertung von Produkten und Arbeitsprozessen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.) Arbeit 5.0: Menschzentrierte Innovationen für die Zukunft der Arbeit. Frühjahrskongress 2025, Aachen. Dortmund: GfA-Press.

Arbeitsbelastung, Berufsaustritte und Personalbindung bei Schweizer Berufsfeuerwehren

Anne JANSEN, Christoph VOGEL

Institut für Personalmanagement & Organisation, Hochschule für Wirtschaft Fachhochschule Nordwestschweiz
Riggenbachstrasse 16, CH-4600 Olten

Kurzfassung: Die Studie untersucht Austrittsgründe von Berufsfeuerwehrleuten sowie Maßnahmen zur Prävention frühzeitiger Austritte. In einem Mixed-Methods-Design wurden Austritte der Jahre 2014-2024 analysiert und elf Interviews mit Arbeitgebern geführt, um Motive, Anschlusswege und Bindungsstrategien zu identifizieren. Hauptaustrittsgründe waren gesundheitliche Einschränkungen, Veränderungen der Pensionskassenleistungen, private Motive sowie begrenzte Aufstiegsmöglichkeiten. Viele Berufsfeuerwehrleute wechselten in verwandte Tätigkeiten. Umgesetzte Maßnahmen umfassen Gesundheitsförderung, Funktionswechsel, Weiterbildung und flexible Arbeitszeitmodelle. Die Ergebnisse zeigen einen Trend zu früheren Austritten und unterstreichen die Bedeutung vorausschauender Personalplanung mit altersgerechter Arbeitsgestaltung und Laufbahnentwicklung.

Schlüsselwörter: Berufsfeuerwehr, psychische und physische Belastung, frühzeitiger Austritt, Bindungsstrategien, Arbeitsfähigkeit

1. Einleitung

Berufsfeuerwehrleute leisten im öffentlichen Auftrag Interventionen bei Bränden, Elementarereignissen, Einstürzen, Unfällen sowie atomaren, biologischen und chemischen Schadenslagen und tragen damit wesentlich zum Schutz von Menschen, Tieren, Umwelt und Sachwerten bei (Schweizerischer Feuerwehrverband o. J.). Ihre Arbeitsbedingungen unterscheiden sich grundlegend von Berufsgruppen mit Büroarbeitsplätzen. So sind Berufsfeuerwehrleute aufgrund ihrer Tätigkeit sowie des besonderen Schichtrhythmus mit 24-stündigen Präsenzzeiten hohen physischen, psychischen und sozialen Belastungen ausgesetzt (Khoshakhlagh et al. 2024; May et al. 2023). Bestehende Forschung zeigt, dass die Arbeitsfähigkeit in Berufsgruppen mit hohen körperlichen und/oder psychischen Belastungen häufig reduziert ist (van den Berg et al., 2009). Zudem weisen Studien darauf hin, dass entsprechende Arbeitsbedingungen häufig dazu führen, dass Personen ihren Beruf nicht bis zum ordentlichen Pensionsalter ausüben wollen oder können (Dal Bianco et al. 2015; Eurofound 2025). Zur Förderung der Gesundheit und Leistungsfähigkeit bis zum Pensionsalter werden verschiedene Ansätze diskutiert (Eurofound 2025; Zacher et al. 2018). Bestehende Forschung berücksichtigt jedoch die spezifischen organisatorischen Rahmenbedingungen der Berufsfeuerwehr nur unzureichend. Ziel der vorliegenden Studie war es daher, Austrittsmuster und -gründe von Berufsfeuerwehrleuten zu untersuchen sowie Bindungsstrategien der Arbeitgeber zu identifizieren, um organisationsbezogene Handlungsempfehlungen abzuleiten.

2. Methodisches Vorgehen

Die Untersuchung basiert auf einem Mixed-Methods-Design. In einem ersten Schritt wurden jene Schweizer Berufsfeuerwehren identifiziert, deren Austrittsdaten ausgewertet und mit deren Vertretungen vertiefende Interviews geführt werden sollten. Die Auswahl erfolgte anhand definierter Kriterien: Trägerschaft (Ausschluss von Miliz- und Betriebsfeuerwehren), Organisationsgröße (klein vs. groß), Sprachregion (deutsch- vs. französischsprachig) sowie Schichtmodell (24-24 vs. 24-48). Von insgesamt 17 Berufsfeuerwehren in der Schweiz wurden auf dieser Grundlage neun in die Studie einbezogen. Vier davon sind größere Organisationen mit 100 bis 300 Beschäftigten, fünf sind kleinere mit 30 bis 50 Mitarbeitenden. Drei arbeiten mit dem 24-24-Schichtmodell, die übrigen mit dem 24-48-Modell.

2.1 Qualitative Interviews

Über das Netzwerk des Schweizerischen Verband des Personals öffentlicher Dienste (VPOD) wurden die Berufsfeuerwehren kontaktiert und um Teilnahme an der Studie gebeten. Bei sieben Berufsfeuerwehren wurde je ein, bei zwei wurden zwei Interviews geführt. Bis auf zwei Online-Interviews wurden alle Interviews vor Ort in den Einsatzzentralen geführt. Alle Interviewpartner waren Männer und entweder als Kommandant, Dienstoffizier, Einsatzleiter oder Leitung Einsatzplanung und Ausbildung tätig. Der Interviewleitfaden fokussierte auf die Austrittsgründe, die weiteren (Erwerbs-) Wege der ausgetretenen Personen sowie die Aktivitäten und Maßnahmen, welche die Arbeitgeber zur Minimierung frühzeitiger Austritte umsetzen. Die Interviews wurden automatisch transkribiert und mittels inhaltlich strukturierender qualitativer Inhaltsanalyse nach Kuchartz (2018) ausgewertet. Die Kategorisierung erfolgte dabei einerseits geleitet durch die zuvor gebildeten Kategorien im Rahmen der Leitfadenentwicklung (deduktive Kategorienbildung), andererseits wurden aus dem gewonnenen Datenmaterial auch neue Kategorien gebildet (induktive Kategorienbildung).

2.2 Quantitative Datenauswertung

Um die Anzahl und Art der Austritte auswerten zu können, wurden die Interviewpersonen um die entsprechenden Daten für den Zeitraum von 2014 bis 2024 gebeten. Erfragt wurde Austrittsjahr, -alter, Dienstalter bei Austritt, die Austrittsart sowie weitere Informationen wie Befristung, Hierarchie und Pensum. Diese Daten wurden anonymisiert zusammengetragen, bereinigt, aggregiert und nach Häufigkeiten ausgewertet.

3. Ergebnisse

Die quantitativen Daten zeigen, dass im Zeitraum von 2014 bis 2024 bei den ausgewählten neun Berufsfeuerwehren insgesamt 254 Berufsfeuerwehrleute ausgetreten sind. Abbildung 1 zeigt die aggregierten Austritte nach Austrittsjahr. Insgesamt machen frühzeitige Pensionierungen mit 48% knapp die Hälfte aller Austritte aus. Zu frühzeitigen Pensionierungen wurden alle Austritte aufgrund Pensionierung gezählt, bei denen das in der Schweiz gültige Referenzalter von 65 Jahren für Männer nicht erreicht wurde. Die zweithäufigste Austrittsart mit 40% ist die Kündigung durch Arbeitnehmende. In 6% der Fälle erfolgte der Austritt im genannten Referenzalter als ordentliche Pensionierung. Bei weiteren 4% kam es zu internen Stellenwechseln. In weniger als 2% der Fälle erfolgte der Austritt aus anderen Gründen.

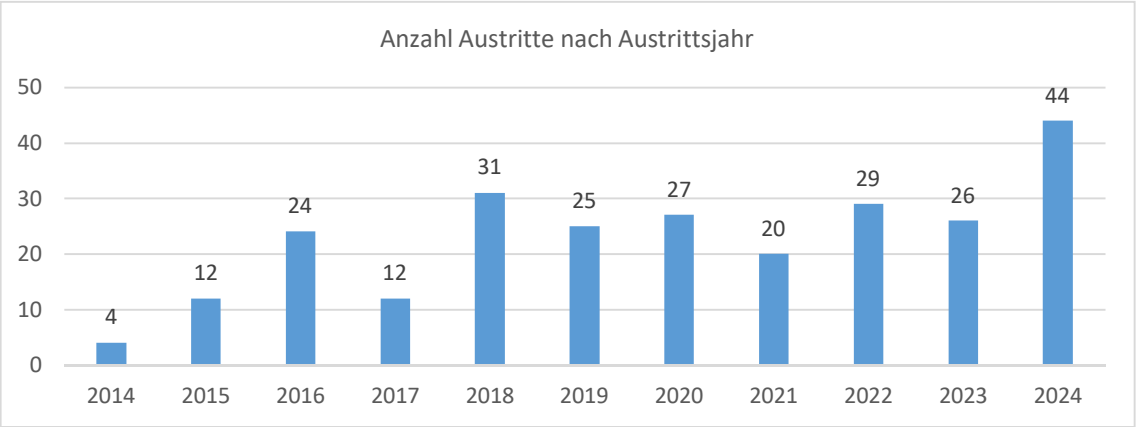


***Abbildung 1**: Anzahl Austritte nach Austrittsjahr aggregiert über die neun untersuchte Berufsfeuerwehren (N = 254 Austritte). Bei einer Berufsfeuerwehr konnten nur Austritte im Zeitraum von 2018-2024 berücksichtigt werden.*

Es zeigt sich über den Untersuchungszeitraum hinweg eine leichte Zunahme von Austritten. Werden die Austrittsarten für die einzelnen Jahre analysiert, fällt eine Tendenz zu mehr ordentlichen Pensionierungen und einer höheren Anzahl an Kündigungen durch Arbeitnehmende auf. Das durchschnittliche Austrittsalter aller ausgetretenen Berufsfeuerwehrleute liegt bei 51.4 Jahren. Die Werte variieren je nach Berufsfeuerwehr zwischen 42.3 und 56.8 Jahren. Das durchschnittliche Pensionsalter liegt bei 61.3 Jahren, mit einer Varianz von 59.9 und 64.4 Jahren. Es fällt auf, dass das durchschnittliche Pensionsalter bei allen großen Feuerwehrorganisationen unter 62 Jahren liegt, während es bei den kleineren Berufsfeuerwehren eine größere Streuung gibt (zwischen 61.7 und 64.4 Jahren).

3.1 Austrittsgründe der Berufsfeuerwehrleute

In den Interviews wurden verschiede Austrittsgründe thematisiert, siehe Tabelle 1.

***Tabelle 1:** Austrittsgründe der Berufsfeuerwehrleute.*

Hauptkategorien	Unterkategorien
Pensionierung & Vorsorgeleistungen	Ordentliche Pensionierung; Anreiz für Frühpensionierung; Umstellung von Vorsorgeleistungen
Arbeitgeber & Arbeitsorganisation	Wohnrayon-Regelung; begrenzte Karriere- und Aufstiegsperspektiven; Mitsprache/Hierarchie; Arbeitszeit-/Schichtmodell; Lohn; Risiken im Einsatz (Tod)
Team & Kultur	Teampassung, Umgangston
Private Lebensumstände	Wohnortwechsel/private Situation; Auszeit; Sättigung/Neuausrichtung
Gesundheit	Physische Gesundheit inkl. BU/NBU; psychische Gesundheit; Burnout; Suizid
Fähigkeit & Eignung	Mangelnde Eignung/Fähigkeiten

Mehrere Berufsfeuerwehren nannten Anreize zur Frühpensionierung durch gute Vorsorgeleistungen oder ein Lebensarbeitsmodell, bei dem Mitarbeitende für eine frühere Pensionierung Stundengutschriften sammeln können. Es wurde deutlich, dass

nicht alle Berufsfeuerwehren die gleichen Möglichkeiten zur frühzeitigen Pensionierung bieten. Mehrere Interviewpartner nannten arbeitgeberbezogene Gründe für die Austritte. So wurde mehrfach die Wohnrayon-Regelung (d.h. Mitarbeitende müssen in einem bestimmten Umkreis um den Arbeitsplatz wohnen) als Grund genannt. Ein weiteres wiederkehrendes Thema waren die begrenzten Aufstiegsperspektiven vor allem bei kleineren Berufsfeuerwehren, die dazu führen, dass sich insbesondere jüngere Mitarbeitende nach Alternativen umsehen. Auch der attraktivere Lohn oder ein anderes Schichtmodell wurde als Austrittsgrund beschrieben.

Neben privaten Lebensumständen wie Wohnortwechsel oder Wunsch nach Auszeit, wurden insbesondere gesundheitliche Gründe angeführt, wie Beschwerden mit dem Bewegungsapparat, Herzprobleme oder schwere Erkrankungen sowie Berufs- und Nichtberufsunfälle. Eingeschränkte psychische Gesundheit wurde mehrfach als zusätzlicher Faktor genannt, der zum Entschluss, frühzeitig aus dem Beruf auszutreten, geführt hat. Die mangelnde Eignung für den Beruf wurde nur einmalig genannt und stellt in der Regel keinen Grund für einen Austritt dar.

3.2 Weitere (Erwerbs-)Wege der Berufsfeuerwehrleute

Die Interviewdaten zeigen, dass einige Austritte in einen vollständigen Ausstieg aus dem Arbeitsmarkt mündeten, entweder durch Pensionierung oder infolge von Langzeitabsenzen bzw. Erwerbsunfähigkeit aufgrund schwerer Krankheit oder berufs- bzw. nichtberufsbedingter Unfälle. In anderen Fällen erfolgte ein Arbeitgeberwechsel. So berichteten mehr als zwei Drittel der Berufsfeuerwehren von einem Wechsel zu anderen Berufsfeuerwehren, oft bedingt durch Wohnortwechsel, Lohnvorteilen oder begrenzten Aufstiegsmöglichkeiten. Auch interne Wechsel innerhalb der Feuerwehr, etwa in die Einsatzzentrale, den Brandschutz oder den Hausdienst, wurden erfasst. Weitere Anschlusswege nach dem Austritt umfassten das Verlassen des Feuerwehrberufs durch einen Wechsel zu anderen Tätigkeiten beim gleichen Arbeitgeber (z. B. Kantonspolizei, Straßen-Inspektorat, städtische Unterhaltsstellen), die Rückkehr in den ursprünglich erlernten Beruf oder eine berufliche Neuorientierung, etwa im Zivilschutz, Militär oder bei Gebäudeversicherungen.

3.3 Maßnahmen zur Bindung von Berufsfeuerwehrleuten

Die befragten Berufsfeuerwehren beschrieben eine Reihe von direkten und indirekten Maßnahmen, die sie bereits einsetzen, um Mitarbeitende langfristig zu halten (vgl. Tabelle 2). So wurde die Wohnrayon-Regelung bereits bei mehreren Berufsfeuerwehren abgeschafft oder der Radius deutlich ausgeweitet. Verschiedene Maßnahmen zielten darauf ab, für Personen alternative Tätigkeitsgebiete innerhalb der Feuerwehr oder des Arbeitgebers zu finden, dies gelingt in der Regel besser bei größeren Berufsfeuerwehren/Arbeitgebern. Neben den Maßnahmen, die einen Wechsel in andere Aufgabenbereiche darstellen, wurden auch Maßnahmen für den direkten Einsatz genannt, wie die Einteilung in die Fahrerfunktion oder die informelle Unterstützung durch das Team.

Mehr als zwei Drittel der Berufsfeuerwehren gaben die Möglichkeit zur Teilzeitarbeit mit Pensen zwischen 70 und 90% als weitere Maßnahme an, um Mitarbeitende zu binden. Eine Berufsfeuerwehr hat bereits Erfahrung mit Jobsharing gemacht, hier teilten sich zwei Personen eine Vollzeitstelle.

Tabelle 2: *Maßnahmen und Aktivitäten zur Bindung von (älteren) Berufsfeuerwehrleuten.*

Hauptkategorien	Unterkategorien
Arbeitsorganisation & Personalplanung	Abschaffung Wohnrayon-Regelung; Stellenbudgets für flexiblen Einsatz; interne Wechsel (Einsatzzentrale, Brandschutz, Hausdienst); Alarmierung einzelner Zimmer
Einsatz- & Aufgabenanpassung	körperlich weniger belastende Funktionen; kompetenzorientierter Personaleinsatz; informelle Teamunterstützung
Arbeitszeit- & Laufbahnmodelle	Teilzeit; Jobsharing; Anpassung von Schichtmodellen; Lebensarbeitszeit- und Frühpensionierungslösungen
Entwicklung & Qualifizierung	fachliche Weiterbildung; Umschulungsunterstützung; Förderung alternativer Laufbahnwege
Gesundheits- & Präventionsangebote	Sport- und Fitnessprogramme; ärztliche Untersuchungen; gesundheitsbezogene Weiterbildung; Einsatznachbesprechungen und Peer-Systeme; Case Management und psychologische Unterstützung

Fachliche Weiterbildungen wurden genannt, um die Eignung langfristig sicherzustellen. Darüber hinaus bieten auch mehr als die Hälfte der Berufsfeuerwehren entwicklungsbezogene Weiterbildungen an, so z.B. zur Brandschutzfachperson, in Spezialgebieten wie Höhenrettung, Rettungsflügen oder bei taktischen Feuerwehreinsätzen in Zusammenarbeit mit der Polizei. Die Berufsfeuerwehren bieten teilweise auch Unterstützung bei Umschulungen, wenn sich abzeichnet, dass die Mitarbeitenden den aktiven Dienst im späteren Erwerbsalter nicht mehr ausüben können. Nicht zuletzt werden auch eine Reihe von Gesundheits- und Präventionsangeboten umgesetzt, um die Gesundheit der Mitarbeitenden langfristig zu erhalten.

4. Diskussion

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Berufsfeuerwehrleute in der Schweiz in der Regel vor Erreichen des ordentlichen Pensionsalters aus dem Feuerwehrdienst austreten. Für den Zeitraum der letzten zehn Jahre (2014-2024) zeichnet sich eine Tendenz zu mehr Austritten ab. Insbesondere fällt auf, dass mehr Kündigungen durch jüngere Arbeitnehmende erfolgen. Für diese Gruppe scheinen die Gründe vor allem arbeitgeberseitige Faktoren zu betreffen, wie die Wohnrayon-Regelung, fehlende Aufstiegsperspektiven oder Lohnanreize, etwas weniger ausgeprägt auch persönliche Lebensumstände. Diese Personen wechseln in der Regel zu anderen Berufsfeuerwehren oder eine verwandte Tätigkeit. Gesundheitliche Gründe führen demgegenüber häufiger zu Frühpensionierungen sowie Erwerbsunfähigkeit oder veranlassen Wechsel in andere Funktionen innerhalb und außerhalb der Feuerwehr. Es fällt auf, dass die umgesetzten Maßnahmen der Feuerwehren wie von Zacher et al. (2018) sowie Tempel & Illmarinen (2019) empfohlen einerseits dazu dienen, die Arbeitsfähigkeit der Berufsfeuerwehrleute möglichst lang zu erhalten, z.B. durch gesundheitsbezogene Maßnahmen und Qualifizierung. Andere dienen dazu, älteren Berufsfeuerwehrleuten Wechsel zu Aufgaben oder Tätigkeiten zu ermöglichen, die sie auch bei eingeschränkter Gesundheit ausüben können (vgl. Jansen & Zumsteg, 2025).

Die vorliegende Studie weist die Limitation auf, dass die Austrittsgründe nicht direkt bei den Berufsfeuerwehrleuten erhoben, sondern über Vertretende ausgewählter Berufsfeuerwehren berichtet wurden. Dennoch ergeben sich aus den Befunden mehrere praktische Implikationen. Insbesondere sollten die Aktivitäten der Berufsfeuerwehren noch stärker auf individuelle Belastungsprofile, altersgerechte Arbeitsgestaltung und Laufbahnentwicklung ausgerichtet werden. Dazu sollten bestehende Maßnahmen als Good-Practice-Ansätze zwischen den Berufsfeuerwehren systematisch geteilt werden, da nicht alle Organisationen vergleichbare Instrumente einsetzen. Zudem wird eine vorausschauende Personalplanung empfohlen, welche die Altersstruktur berücksichtigt und Mitarbeitende frühzeitig für mögliche alternative Tätigkeiten sensibilisiert sowie entsprechend qualifiziert. Darüber hinaus erscheint es zentral, insbesondere Austritte jüngerer Mitarbeitender zu reduzieren, um einer weiteren Verengung der Altersstruktur entgegenzuwirken. Insgesamt tragen Maßnahmen zu Gesundheitsförderung, Kompetenzentwicklung und Flexibilisierung wesentlich zur langfristigen Einsatzfähigkeit und Bindung dieser besonders belasteten Berufsgruppe bei.

5. Literatur

Dal Bianco, C, Trevisan, E & Weber, G (2015) “I want to break free”. The role of working conditions on retirement expectations and decisions. European Journal of Ageing 12:17-28.

Eurofound (2025) Keeping older workers in the labour force. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Jansen, A & Zumsteg, M (2025) Wie gelingt präventive Kompetenzentwicklung? Den richtigen Zeitpunkt für Up- & Reskilling finden. Der HR-Developer, 6-7.

Khoshakhlagh, AH, Al Sulaie, S, Mirzahosseininejad, M et al. (2024) Occupational stress and musculoskeletal disorders in firefighters: the mediating effect of depression and job burnout. Scientific Reports 14: 4649.

Kuckartz, U (2018) Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Weinheim: Beltz.

May, T, Arnold, C, Klas, T et al. (2023) Arbeitsunfähigkeit bei präklinischen Rettungskräften in Deutschland. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 73:120-128.

Schweizerischer Feuerwehrverband (o.J.) Über uns. Fakten zur Feuerwehr. Accessed Dez 05, 2025. https://www.swissfire.ch/ueber-uns

Tempel, J & Illmarinen, J (2019) Arbeitsleben 2025. Das Haus der Arbeitsfähigkeit im Unternehmen bauen. M. Giessert (Hrsg.).

van den Berg, TIJ, Elders, LAM, de Zwart, BCH & Burdorf, A. (2009) The effects of work-related and individual factors on the Work Ability Index: a systematic review. Occupational and Environmental Medicine 66:211-220.

Zacher, H, Kooij, DTAM & Beier, ME (2018) Active aging at work: Contributing factors and implications for organizations. Organizational Dynamics 47:37-45.

Danksagung: Diese Studie wurde gefördert vom Schweizerischen Verband des Personals öffentlicher Dienste (VPOD). Wir danken Frau Ellenor Hunn für die Unterstützung bei der Datenerhebung.

Von der Problemdefinition bis zur Evaluation: Menschengerechte Implementierung eines KI-Assistenten zur Kostenkalkulation basierend auf technischen Zeichnungen

Mandy WÖLKE[1], Philipp HEIN[2]

[1] Institut für Angewandte Informatik e. V.
Goerdelerring 9, D-04109 Leipzig
[2] Professur für Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement
Technische Universität Chemnitz, Erfenschlager Str. 73, D-09125 Chemnitz

Kurzfassung: Der vorliegende Beitrag beschreibt die Entwicklung und Einführung eines KI-gestützten Assistenzsystems in einem kleinen mittelständischen Produktionsunternehmen als Beispiel für einen menschenzentrierten Innovationsprozess im Bereich Planung und Steuerung der Produktion. Für das Vorgehen wurde der Designs Science Research Ansatz um menschenzentrierte Designkomponenten erweitern. Hierbei wurden mit Hilfe semistrukturierter Interviews die Anforderungen hinsichtlich zentraler Aspekte der Mensch-KI-Interaktion, wie bspw. Akzeptanz, Vertrauen und Usability, iterativ erhoben und evaluiert. Darauf aufbauend werden abschließend zentrale „Lessons Learned“ formuliert, die aus der praktischen Umsetzung resultierten.

Schlüsselwörter: KI-gestützte Assistenzsysteme, Menschenzentrierung, Usability, KMU, Produktion, Prozessinnovation

1. Einleitung

Die Digitalisierung und der Einsatz Künstlicher Intelligenz (KI) gelten heute als zentrale Treiber für Innovation und Wettbewerbsfähigkeit – gerade für kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Studien zeigen, dass KI und Automatisierung in KMU nicht nur Prozesse effizienter gestalten, sondern auch Produkt- und Prozessinnovationen ermöglichen können (Thomas & von Garrel, 2026). Gleichzeitig stehen viele KMU vor spezifischen Herausforderungen: begrenzte finanzielle und personelle Ressourcen, fehlendes IT-Know-how und eine oft unklare Digitalisierungsstrategie hemmen die Umsetzung (Appio et al. 2024). Vor diesem Hintergrund reicht technische Machbarkeit allein nicht aus — es bedarf einer Balance zwischen technologischer Innovation und menschenzentrierter Gestaltung, um Akzeptanz, Nachhaltigkeit und gute Arbeitsbedingungen sicherzustellen.

Der Beitrag beschreibt die menschenzentrierte Entwicklung eines KI-gestützten Kalkulationssystems in einem mittelständischen Unternehmen und stellt damit ein praxisnahes Beispiel für KI-getriebene Prozessinnovation in KMU vor. Als methodische Grundlage diente ein an Friedrich et al. (2024) anschließender, um menschenzentrierte Elemente erweiterter Design-Science-Research (DSR) Ansatz. Das Praxisbeispiel verdeutlicht, wie technische Effizienzgewinne und menschenzentrierte Arbeitsgestaltung miteinander verbunden werden können.

2. Theoretischer Rahmen

Konzepte aus der Human-Computer Interaction (HCI) betonen seit langem die Bedeutung von Partizipation, Transparenz und Gebrauchstauglichkeit (Norman & Draper, 1986). Neuere Ansätze wie menschenzentrierte KI heben zusätzlich die Notwendigkeit hervor, Systeme so zu gestalten, dass sie Vertrauen fördern, Kontrollmöglichkeiten erhalten und die Kompetenzen der Nutzenden stärken (Shneiderman, 2022). Aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive ist darüber hinaus eine sozio-technische Integration erforderlich, die technologische Gestaltung mit organisationalen Strukturen, Arbeitsprozessen und Qualifikationsanforderungen zusammen denkt (Emery & Trist, 1960; Badham, 2021). Akzeptanzfaktoren wie wahrgenommener Nutzen, Einfachheit, Verständlichkeit und organisationaler Fit werden als zentrale Erfolgsbedingungen identifiziert (Venkatesh et al., 2012).

Der Bedarf nach praxistauglichen Vorgehensmodellen wird durch die Systematische Literatur Review von Brückner et al. (2023) deutlich unterstrichen. Die Analyse zeigt, dass es bisher an empirisch fundierten Anwendungsfällen mangelt, die konkrete Schritte und Methoden für menschenzentrierte Digitalisierung greifbar machen. Besonders kritisch ist, dass bestehende Methoden für KI-Entwicklung häufig ausschließlich die technische Umsetzung fokussieren, während menschenzentrierte und sozio-technische Anforderungen nur bedingt betrachtet werden.

Vor diesem Hintergrund zeigt der vorliegende Beitrag anhand eines konkreten Praxisbeispiels, wie ein um partizipative und menschenzentrierte Elemente erweitertes DSR-basiertes Vorgehen (Friedrich et al. 2024) in einem realen Unternehmenskontext angewendet werden kann. Zur Nachvollziehbarkeit wird im folgenden Kapitel das zugrunde liegende Vorgehen erläutert.

3. Methodisches Vorgehen und Vorgehensmodell

Die Entwicklung und Einführung KI-gestützter Systeme in Unternehmen erfordert methodische Ansätze, die sowohl technologische als auch organisatorisch-menschliche Aspekte adressieren. Ein bewährtes Framework für die Entwicklung technologische Artefakte ist der DSR-Ansatz. Dieser zeichnet sich durch eine starke Praxisorientierung und einen iterativen Prozess aus. Die entscheidende Bedeutung des iterativen Ansatzes bestätigte sich auch in anderen Studien (Friedrich et al. 2024, Shneiderman, 2022).

Der Ansatz dient der Adressierung konkreter Probleme und bietet eine strukturierte Vorgehensweise, bestehend aus Problemidentifikation, Konkretisierung der Anforderungen inklusive Zielentwicklung, den eigentlichen Entwicklungsprozess, Demonstration, Evaluation sowie Kommunikation (Peffers et al. 2007). Obwohl der DSR zunehmend im Kontext digitaler Technologien Anwendung findet, zeigen Studien, dass die methodische Ausrichtung überwiegend technikgetrieben bleibt und soziale sowie arbeitsbezogene Anforderungen häufig nur am Rand berücksichtigt werden (Gregor & Hevner, 2013). Vor diesem Hintergrund wurde das in diesem Beitrag angewandte Vorgehen durch Komponenten menschenzentrierten Designs erweitert. Das Vorgehensmodell (siehe Abb.1) umfasst folgende Phasen:

1. **Kennlernen**: Aufbau einer gemeinsamen Arbeitsbasis, durch ein Erstverständnis organisationaler Strukturen, zentraler Herausforderungen und relevanter Stakeholder

2. **Fallidentifikation**: Anforderungserhebung aus Nutzenden Sicht per semistrukturiertem Interview, sowie gemeinsame Analyse bestehenden Prozesse und vorherrschenden Problemlagen
3. **Falldefinition**: Präzisierung des Anwendungsfalls, Formulierung der Zielsetzung sowie Ableitung der Anforderungen für ein menschenzentriertes Design und technische Spezifizierungen
4. **Lösungsentwicklung**: Abschätzung geeigneter KI-Lösungen auf Basis erster Daten sowie gemeinsame Konzeption unter Einbezug fachlicher und technischer Expertise in Workshops
5. **Realisierung und Design**: Iterative technische Umsetzung inklusive Modellauswahl, Datenaufbereitung und Training, ergänzt durch Workshops zur nutzerzentrierten UX-/UI-Gestaltung
6. **Prototyp-Test**: Integration und Erprobung des Prototyps mit iterativen Feedbackschleifen
7. **Evaluation**: Iterative Erhebung hinsichtlich Funktionalität, Verständlichkeit und organisationalem Fit
8. **Ggf**. **Implementierung**: Übergabe und Integration des finalisierten KI-Systems in bestehende Prozesse

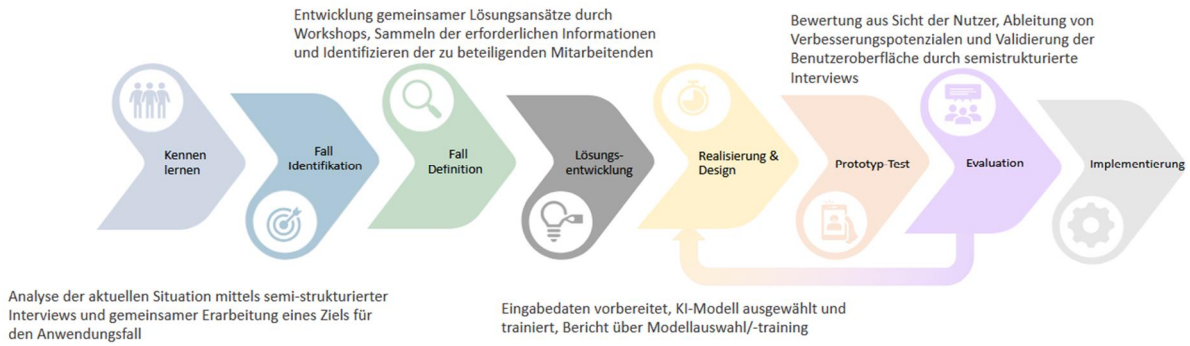


***Abbildung 1**: Vorgehensmodell der prototypischen Entwicklung und Einführungen eines KI-gestützten Assistenzsystems in einem KMU.*

Durch die Verknüpfung der klar strukturierten DSR-Logik mit partizipativen, arbeitsorientierten und reflexiven Elementen wird ein Vorgehen ermöglicht, das sowohl technische Robustheit als auch Akzeptanz und Nutzungsqualität adressiert. Dieses methodische Fundament bildet die Grundlage für das im folgenden Kapitel vorgestellte Praxisbeispiel der KI-gestützten Kalkulation in einem mittelständischen Unternehmen.

4. Praktische Anwendung am Fallbeispiel

Das vorgestellte Vorgehen wurde in einem kleinen mittelständischen Unternehmen aus dem produzierenden Gewerbe angewendet, das kundenindividuelle Präzisionsteile mithilfe von CNC-Drehmaschinen herstellt. Dabei werden die Präzisionsteile basierend auf Konstruktionszeichnungen der Kunden kalkuliert und nach Angebotsannahme produziert. Die verantwortlichen Mitarbeitenden sehen sich in der Angebotserstellung mit einem zeitintensiven und stark erfahrungsbasierten Kalkulationsprozess der Produktionskosten konfrontiert, der durch hohe Variabilität der Aufträge und fehlende Datenstandardisierung erschwert wird. Zugleich zeichnet

sich der bestehende Prozess durch einen manuellen Datentransfer zwischen dem ERP-System und Exceltabellen aus. Die Kostenkalkulation ist eng mit fachlichem Erfahrungswissen, internen Abstimmungsroutinen und Kundenanforderungen verknüpft – und somit ein kritischer Schritt in der Arbeitsvorbereitung. Für die Gewährleistung der Wettbewerbsfähigkeit ist die schnelle Abwicklung dieses komplexen Prozesses maßgeblich. Aufgrund der zahlreichen zu berücksichtigen Parameter, wird diese Arbeitsaufgabe zu ca. 50% von der Geschäftsleitung selbst übernommen. Während der restliche Anteil sich mit je ca. 10-15% unter vier alternierenden Mitarbeitenden aufteilt, die neben dieser Aufgabe weitere Arbeitsaufgaben erfüllen. Hierdurch bestehen, aufgrund fehlender Routine und verschiedener Hierarchieebenen, zwischen den ausführenden Personen Unterschiede bezüglich der Kompetenz und Entscheidungsbefugnis.

Sowohl die hohe anteilige Arbeitsbelastung der Geschäftsleitung als auch das Erfordernis von Erfahrungswissen, begründen die Notwendigkeit einer Prozessverbesserung. Die angestrebte Verbesserung ist die Entwicklung und Einführung eines KI-gestützten Assistenzsystems für die Berechnung von Angeboten. Im Soll-Zustand prüft das System bei Auftragseingang zunächst anhand von Bild- und Textähnlichkeiten zwischen den technischen Zeichnungen des Kunden und historischen Aufträgen, ob ähnliche Teile bereits produziert wurden. Auf der Grundlage der identifizierten ähnlichen Teile prognostiziert das System im Soll-Zustand Laufzeiten sowie benötigte Materialien für die Fertigung. In der technischen Umsetzung wird durch den Einsatz eines Bilderkennungsverfahrens auf Basis eines ML-Algorithmus‘ eine intelligente Kalkulationsgrundlage geschaffen. Diese identifiziert bereits gelaufene Werkstücke auf Basis genormter Werkzeichnungen inklusive relevanter Informationen und liefert automatisiert Kalkulationsvorschläge, um die Mitarbeitenden in der Auftragserstellung und Produktionsplanung (z. B. bei Fragen der Maschinenbelegung, Materialbedarf sowie kalkulierte Laufzeit) zu entlasten.

Die Prozessverbesserung des Kalkulationsprozesses wurde mit Hilfe des Vorgehensmodells als Anwendungsfall identifiziert und anschließend initiiert. Zunächst wurden im Rahmen des Kennenlernens die relevanten beteiligten Akteure ermittelt und in der Phase der Fallidentifikation mittels Workshops die aktuelle Situation analysiert sowie ein gemeinsames Ziel für den Anwendungsfall erarbeitet. Für ein besseres gegenseitiges Verständnis des vor Ort gegebenen Settings der täglichen Arbeitsprozesse gab es eine Werksbesichtigung. Anschließend erfolgte in der Phase der Falldetailierung mittels semi-strukturierter Interviews die Anforderungserhebung mit den Mitarbeitenden des Unternehmens. Basierend auf den Anforderungen wurde während der Phase Lösungsentwicklung von technischer Seite die Datenbasis im Unternehmen analysiert, sowie anschließend eine Datenpipeline konzipiert und erstellt. Anschließend wurde das KI-Modell ausgewählt und trainiert. Parallel wurde die Benutzerschnittstelle als Software-Mockup in einer ersten Iteration entwickelt und gestaltet. Die ersten UI-Designs zur Benutzerschnittstelle wurden in einem interaktiven Workshopsetting vorgestellt sowie notwendige Anpassungen aus Nutzenden Sicht erarbeitet. In der Realisierung und Design Phase wurden die gesammelten Erkenntnisse mit der Erstellung eines ersten Prototyps inklusive funktionierendem Back-End sowie Front-End umgesetzt. Der Prototyp wurde anschließend in einer aktiven Nutzungsphase im Unternehmen zum Einsatz gebracht. Um die technische Funktionalität und die Benutzerschnittstelle des Prototyps umfassend zu bewerten, wurde neben der initialen Nutzung auch die wiederholte Anwendung einbezogen. Dazu bearbeiteten die Nutzenden innerhalb mehrerer Wochen eine Mindestanzahl von Aufträgen mit den Prototypen. Mit Abschluss der Testphase wurde aufgrund des sehr

kleinen Nutzerkreises ein semi-strukturiertes Interview in Form eines Online-Workshops zur Evaluation des Prototyps durchgeführt. Hierbei erfolgte die Strukturierung des Interviews anhand von aus der Literatur abgeleiteten Fragen. Dabei wurden Fragen zu den etablierten Konstrukten Usability, Akzeptanz, Vertrauen und Erklärbarkeit abgeleitet. Das Interview wurde um Fragen zur Technikfunktionalität und dem Kalkulationsprozess ergänzt. Dieses Vorgehen deckt die etablierten Konstrukte einer quantitativen menschenzentrierten Evaluation ab, nutzt darüber hinaus allerdings aufgrund der kleinen Nutzergruppe das qualitative Vorgehen, um direkt wichtige Kontextinformationen in Verbindung mit den Konstrukten zu ermitteln. Obwohl erste Maßnahmen zur Evaluation stattfanden, und damit erste Effekte insbesondere auf die Akzeptanz identifiziert werden konnten, werden im nächsten Iterationsschritt Änderungen an der technischen Funktionsweise und der Benutzerschnittstelle des KI-Systems vorgenommen und gegeben falls iterativ evaluiert, um dann nach einer abschließenden Evaluation final im Unternehmen implementiert werden zu können.

5. Lessons Learned und Ausblick

Der vorliegende Beitrag zeigt anhand eines Praxisbeispiels, wie die menschenzentrierte Entwicklung eines KI-gestützten Systems zur Prozessinnovation in einem KMU beitragen kann.

Eine zentrale Erkenntnis betrifft die frühzeitige und kontinuierliche Einbindung relevanter Stakeholder. Insbesondere in der Phase der Problemidentifikation bis hin zu Falldefinierung ist es wichtig alle Perspektiven einzubeziehen sowie ein gegenseitiges Grundverständnis zu schaffen. Einerseits ein konkretes Verständnis darüber, wie die Prozesse im Unternehmen funktionieren. Auf der anderen Seite aber auch den Unternehmen aus technischer Sicht ein Grundverständnis zu vermitteln, was KI-Systeme sind und wie diese konkret funktionieren. In Gesprächen zeigte sich immer wieder, dass die Vorstellung “Was KI kann" und "Was KI nicht kann" häufig nicht den technischen Möglichkeiten entsprechen. Daher wurden im Rahmen des Use Cases zu Beginn sowie im Laufe der Umsetzung wiederholend sensibilisiert. Zusätzlich wurde eine auseinanderdriftende Vorstellung bezüglich Datenqualität beobachtet. Es fehlte das notwendige Wissen darüber, welches Datenformat für die KI notwendig ist. Es empfiehlt parallel zum Vorhaben Workshops oder Training mit entsprechender Wissensvermittlung durchzuführen. Eine der größten Herausforderungen in der technischen Entwicklung des KI-Systems war die Heterogenität der Daten. Zur Zielerreichung einer beschleunigten Angebotserstellung braucht es ein generelles Grundverständnis und Management der eigenen Daten. Darüber hinaus unterstreicht das Praxisbeispiel die Relevanz iterativer Entwicklungs- und Evaluationsschleifen, in denen Rückmeldungen aus dem Arbeitskontext systematisch in die Weiterentwicklung des Systems einfließen. Das vorgestellte Vorgehen bietet keinen starren Implementierungsplan, sondern einen iterierenden Rahmen, der je nach Unternehmensgröße, Reifegrad und Anwendungskontext wiederholend durchlaufen werden kann. Dies gilt insbesondere für die Phasen 5 bis 7. Diese zyklische Weiterentwicklung ermöglicht es, das KI-System kontinuierlich an veränderte Anforderungen anzupassen und die menschenzentrierte Gestaltung nachhaltig zu verankern.

6. Literatur

Appio, Francesco Paolo; Cacciatore, Emanuele; Cesaroni, Fabrizio; Crupi, Antonio; Marozzo, Veronica (2024): Open innovation at the digital frontier: unraveling the paradoxes and roadmaps for SMEs' successful digital transformation. In: *EJIM* 27 (9), S. 223–247. DOI: 10.1108/EJIM-04-2023-0343.

Badham, Richard, & King, Elizabeth (2021). Mindfulness at Work: A Critical Re-View. Organization, 28, 531-554. https://doi.org/10.1177/1350508419888897.

Brückner, Anja; Hein, Philipp; Hein-Pensel, Franziska; Mayan, Jasmin; Wölke, Mandy (2023): Human-Centered HCI Practices Leading the Path to Industry 5.0: A Systematic Literature Review. In:. International Conference on Human-Computer Interaction: Springer, Cham, S. 3–15. Online verfügbar unter https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-35989-7_1.

Emery, F. E., & Trist, E. L. (1960). Socio-Technical Systems. In C. W. Churchman, & M. Verhulst (Eds.), Management Sciences: Models and Techniques (Vol. 2, pp. 83-97).

Friedrich, Julia; Brückner, Anja; Mayan, Jasmin; Schumann, Sandra; Kirschenbaum, Amit; Zinke-Wehlmann, Christian (2024): Human-centered AI development in practice—insights from a multidisciplinary approach. In: Z. Arb. Wiss. 78 (3), S. 359–376. DOI: 10.1007/s41449-024-00434-5.

Gregor, Shirley & Hevner, Alan. (2013). Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact. MIS Quarterly. 37. 337-356. 10.25300/MISQ/2013/37.2.01.

Norman, Donald A.; Draper, Stephen W. (1986): User Centered System Design. New Perspectives on Human-Computer Interaction (1st ed.). CRC Press.

Peffers, Ken; Tuunanen, Tuure; Rothenberger, Marcus A.; Chatterjee, Samir (2007): A design science research methodology for information systems research. J Manag Inf Syst 24:45–77.

Shneiderman, Ben (2022): *Human-Centered AI*. Oxford, online edn, Oxford Academic, 17 Feb. 2022, https://doi.org/10.1093/oso/9780192845290.001.0001.

Thomas, Simone, von Garrel, Jörg (2026). Studie zum KI-Einsatz bei kleinen und mittelständischen produzierenden Unternehmen in Deutschland. In: von Garrel, J., Thomas, S. (eds) Künstliche Intelligenz im produzierenden Mittelstand. Springer Gabler, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-49275-5_3.

Venkatesh, Viswanath; Thong, James Y. L.; Xu, Xin (2012). Consumer Acceptance and Use of Information Technology: Extending the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. MIS Quarterly, 36, 157-178. https://doi.org/10.2307/41410412.

Danksagung: Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird im Rahmen der Fördermaßnahme "Zukunft der Arbeit: Regionale Kompetenzzentren für Arbeits-forschung - Künstliche Intelligenz" im Programm "Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen" des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR), Bonn, Deutschland, gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Finanzierung. Nr.: 02L19C500.

Menschliche Arbeit und Künstliche Intelligenz. Selbstbestimmung oder Determinierung durch generative KI-Systeme

Tobias SANDERS, Lisa-Marie WINKLER, Michael UHLMANN

ATB Arbeit, Technik und Bildung gGmbH
Neefestraße 76, D-09119 Chemnitz

Kurzfassung: Generative KI verändert Arbeitsprozesse fundamental. Während sie Effizienz und Automatisierung steigert, wandelt sie Kompetenzanforderungen und subjektive Arbeitserfahrungen. Empirische Studien zeigen, dass KI-Systeme Autonomie fördern oder determinieren können, je nach Gestaltungsrahmen. Im Beitrag wird die theoretische Fundierung einer explorativen, empirischen Studie besprochen. Erkenntnissinteresse ist, wie Mitarbeitende KI nutzen, welche organisatorischen Ressourcen Selbstbestimmung ermöglichen und welche KI-Charakteristika Freiräume eröffnen oder einschränken.

Schlüsselwörter: Generative-KI, Selbstbestimmung, Technikdeterminismus, Soziotechnische Systeme, Arbeitsgestaltung

1. Einführung: Generative KI als soziotechnischer Wendepunkt

Die zunehmende Integration von Künstlicher Intelligenz (KI) in Arbeitsprozesse stellt nicht nur eine technologische, sondern auch eine tiefgreifende soziotechnische Herausforderung dar (Bendel & Latniak 2023). Während traditionelle KI-Systeme, die oft auf Expertensystemen und reinforced learning beruhen, oft auf spezifische, repetitive Aufgaben beschränkt waren, zeichnen sich moderne generative KI-Modelle durch ihre Breite Anwendbarkeit und kommunikative Interaktionsfähigkeit aus (Giering 2022; Passalacqua et al. 2025; Brynjolfsson et al. 2025). Diese auf neuronalen Netzen basierende KI weißen entsprechend neue Charakteristika auf (Auszug):

- *Anwendungsbreite:* Nicht auf Einzelaufgaben beschränkt, sondern multimodal einsetzbar
- *Interaktionsform:* Dialogfähig statt einseitiger Datenverarbeitung
- *Lernfähigkeit:* Kontinuierliche Anpassung an neue Kontexte
- *Transparenz:* Oft als “Black Box” schwer interpretierbar

Die Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt sind ebenfalls unterschiedlich: Klassische KI automatisiert vor allem repetitive Aufgaben, während generative KI aufgrund ihrer vielseitigen Anwendungsbereiche ein disruptives Potenzial für ganze Berufsfelder besitzt. Diese technologischen Unterschiede machen generative KI zu einem besonders relevanten Forschungsgegenstand für die Untersuchung von Technik-Selbstwirksamkeit und Arbeitsgestaltung im Bereich Wissensarbeit und Dienstleistung (vgl. Brynjolfsson et al. 2025).

Trotz der zunehmenden Verbreitung von KI-Systemen in der Arbeitswelt konzentrieren sich die meisten Studien auf technische und organisatorische Aspekte der Implementierung. Die psychologischen und soziologischen Auswirkungen auf die Arbeitnehmer:innen sind hingegen noch unzureichend erforscht (Giering 2022).

Auf Basis dieser spezifischen Charakteristika von generativer KI und dem bisher wenig untersuchten Aneignungsprozessen seitens Wissensarbeiter:innen und Dienstleister:innen, wird mit dieser konzeptionellen Arbeit untersucht, ob und wie Mitarbeitende durch KI erweiterte Selbstbestimmung erhalten oder ihre Arbeit determiniert wird:

- Welche Handlungsweisen der Menschen führen zu Selbstbestimmung oder Determinierung durch KI?
- Welche Ressourcen setzen Organisationen ein, um Mitarbeitenden mehr Selbstbestimmung zu erlauben oder ihre Arbeit zu determinieren?
- Welche Charakteristika seitens KI-Systemen führen zu Selbstbestimmung oder Determinierung.

Diese Forschungsfragen sind an der soziotechnischen Logik orientiert (Passalacqua et al. 2025; Bendel & Latniak 2023; Hirsch-Kreinsen 2018). In diesem Beitrag wird sich mit der theoretischen Herleitung einer explorativen Erhebung zur Beantwortung dieser Fragen beschäftigt.

2. Autonomie, Dispositionsspielräume und Freiräume im Kontext der KI-Einführung und -Nutzung

Die Einführung von KI-Systemen in die Arbeitswelt hat tiefgreifende Auswirkungen auf die Arbeitsorganisation und die Arbeitsprozesse. Ein zentraler Aspekt dieser Veränderungen betrifft die Autonomie der Mitarbeitenden und die Entstehung von Dispositionsspielräumen (vgl. Kern & Schumann 1985). In diesem Abschnitt wird betrachtet, wie viel Freiheit und Autonomie Menschen unter den Arbeitsbedingungen von KI oder KI-Einführung haben (können) oder ob – bspw. durch Verdichtung der Arbeit oder strenge Nutzung vorgefertigter Agenten/Custom-Transformatoren die Autonomie beim Einsatz von KI sogar abnehmen kann.

Autonomie und Selbstbestimmung sind zentrale Konzepte in der Arbeitspsychologie und Organisationssoziologie. Autonomie bezieht sich auf das Ausmaß, in dem Mitarbeitende ihre Arbeitsprozesse selbst gestalten und Entscheidungen treffen können (Kirchner et al. 2020). Selbstbestimmung, wie sie von Deci und Ryan (2008) beschrieben wird, betont das grundlegende menschliche Bedürfnis nach Autonomie, Kompetenz und sozialer Eingebundenheit. Im Kontext der KI-Einführung bedeutet dies, dass Mitarbeitende die Möglichkeit haben, KI-Systeme nach eigenen Bedürfnissen zu gestalten und zu nutzen, um ihre Arbeit effektiv und effizient zu gestalten (Passalacqua et al. 2025).

Empirische Studien zeigen, dass Autonomie und Selbstbestimmung die Arbeitszufriedenheit und Motivation der Mitarbeitenden signifikant steigern können. Eine Studie von Compeau & Higgins (1995) zeigt, dass Technik-Selbstwirksamkeit, also die subjektive Gewissheit, KI-Tools kompetent nutzen zu können, die Akzeptanz von KI-Systemen erhöht und die Arbeitszufriedenheit verbessert. Dies ist besonders relevant für generative KI-Systeme, die eine breite Anwendbarkeit und kommunikative Interaktionsfähigkeit bieten, da sie über eine hohe Verbreitung gekennzeichnet sind (Compeau & Higgins 1995).

Dispositionsspielräume, wie sie von Kern and Schumann (1985) beschrieben werden, beziehen sich auf die Handlungsspielräume, die Mitarbeitende im konkreten Arbeitsprozess, haben. Diese Spielräume entstehen durch Qualifikation, Fertigkeit, Erfahrung und quasi-Kooperation mit der jeweiligen Maschine oder Anlage. Das Management versucht mehr oder weniger stark diese Freiräume zu rationalisieren oder

lässt sie (ungewollt) in der Verantwortung der Mitarbeitenden (Kern & Schumann 1985).

Generative KI-Systeme bieten hier besondere Möglichkeiten, da sie nicht nur auf spezifische Aufgaben beschränkt sind, wie es die Industriemaschinen der klassischen industriesoziologischen Fallstudien von Kern and Schumann (1985) noch waren. Sie können Texte, Bilder und komplexe Datenstrukturen verarbeiten und so neue Handlungsspielräume schaffen, indem repetitive und wiederkehrende Arbeiten unterstützt werden kann und selbst in kreativer Hinsicht Ergebnisse erzielt werden können, zu denen die Mitarbeitenden vorher nicht in der Lage waren. Diese Flexibilität zeigt sich auch in der Lernfähigkeit – generative Modelle passen sich kontinuierlich neuen Kontexten an, was den Mitarbeitenden mehr Gestaltungsspielraum gibt (Brynjolfsson et al. 2025).

Empirische Studien zeigen, dass die Einführung von KI-Systemen sowohl Chancen für neue Dispositionsspielräume als auch Risiken der Determinierung birgt. Eine Studie von Langholf and Wilkens (2024) betont, dass die Einführung von KI aktiv und kommunikativ gestaltet werden muss, damit zeitliche Freiräume entstehen und aktiv durch die Mitarbeitenden genutzt werden. Diese Freiräume können durch agile Methoden und KI-Literacy-Programme genutzt werden, um die Kompetenzentwicklung der Mitarbeitenden weiter zu fördern (Langholf & Wilkens 2024).

Durch Zuboff (2019) wird eingewandt, dass KI-Systeme ohne partizipative Gestaltung und Transparenz Handlungsspielräume einschränken und zu einer Determinierung der Arbeit führen können. Die Lösung liegt in der Gestaltung transparenter, erklärbarer KI-Systeme und der Sicherung der Datensouveränität der Mitarbeitenden (Zuboff 2019).

3. Dimensionen zur Bewertung automatisierter Arbeit

Das Konzept von Kern and Schumann (1985) bietet einen Rahmen zur Analyse von Autonomie und Dispositionsspielräumen in der industriellen Arbeitswelt. Es betont, dass technologische Veränderungen nicht zwangsläufig zu einer Einschränkung von Handlungsspielräumen führen. Mit ihrer industriesoziologischen Typologie der Arbeitsweisen von Produktions- und Überwachungsarbeit haben sie empirisch bewiesen, dass höhere Automatisierungsgrade mit einer qualifizierteren und selbstbestimmteren Arbeitsweise zusammenhängen können. Je nach Einsatz sowohl ihrer Fähigkeiten und Arbeitsleistung als auch ihrer (subjektivierten) Erfahrung und sinnlichen Wahrnehmung sind Mitarbeitende in der Lage, mitunter erhebliche Freiheiten durch intensive und fachkundige Interaktion mit Maschinen und Anlagen zu erzielen (Kern & Schumann 1985).

Einige Dimensionen dieser klassischen industriesoziologischen Studie können für die Operationalisierung zur Untersuchung moderner KI-Systeme im Bereich Wissensarbeit übertragen werden:

- **Qualifikationsstruktur und Arbeitsinhalte:** Differenzierung von Arbeitsanforderungen (z.B. Polarisation hochqualifizierte Steuerungsaufgaben und entqualifizierte Routinetätigkeiten); Veränderung von Arbeitsinhalten durch Technisierung
- **Arbeitsorganisation und Kontrolle:** Grad der Arbeitszerlegung; Kontrolldichte und Autonomiegrade
- **Mensch-Maschine-Interaktion:** Form der Interaktion zwischen Arbeiter:innen und Techniksystemen; Veränderung der Arbeitsrolle
- **Arbeiterbewusstsein und Subjektivität:** Veränderung des Selbstverständnisses

der Arbeitenden; Wahrnehmung von Handlungsmöglichkeiten und Grenzen
- **Arbeitsbedingungen und Belastungen:** Physische und psychische Belastungsveränderungen; Arbeitszeitregime und Flexibilisierung

Diese Dimensionen bieten auch ein analytisches Raster, um die Auswirkungen generativer KI auf Wissensarbeit systematisch zu untersuchen. Besonders relevant erscheint die Dimension der Mensch-Maschine-Interaktion, die bei KI-Systemen durch ihre Dialogfähigkeit und Lernkapazität neue Qualität erhält.

Typisch für vergangene disruptive Entwicklungen in der arbeitsteiligen Gesellschaft waren insbesondere Polarisation zwischen Qualifizierten und weniger qualifizierten Menschen, neue Formen der Entfremdung von Produkt oder Produktionsprozess, Determinismus des Arbeitsprozesses durch Technik (Braverman 1985; Kern & Schumann 1985; Marx 2020).

4. Explorative Untersuchung von soziotechnischen Dimensionen auf Selbstbestimmung oder Determinierung

Empirische Studien zeigen, dass die Einführung von KI-Systemen sowohl Chancen für neue Dispositionsspielräume als auch Risiken der Determinierung birgt. Eine Studie von Parker and Grote (2022) betont, dass die Gestaltung sozio-technischer Systeme entscheidend ist, um sicherzustellen, dass Technologien Handlungsspielräume erweitern statt einzuengen. Sie zeigen, dass partizipative Gestaltungsprozesse dazu beitragen, dass Mitarbeitende Technologien als Werkzeug zur Erweiterung ihrer Autonomie wahrnehmen (Parker & Grote 2022; vgl. Passalacqua et al. 2025). Gerade dieser Einfluss von Mensch,Technik und Organisation auf die selbstbestimmte Arbeitsgestaltung der Mitarbeitenden ist für die Beantwortung der Forschungsfragen von Bedeutung. Methodisch wird ein qualitativer Forschungsansatz gewählt, der Leitfadeninterviews und teilnehmende Beobachtungen kombiniert. Dieser methodische Mix ermöglicht es, sowohl die individuellen Perspektiven der Mitarbeitenden als auch die organisatorischen und technologischen Rahmenbedingungen zu erfassen.

Die Leitfadeninterviews (Dauer: 60–90 Minuten) richten sich an Wissensarbeiter:innen aus verschiedenen Branchen (z. B. Bildung, IT, Verwaltung), die generative KI in ihrem Arbeitsalltag nutzen. Der Interviewleitfaden ist in drei thematische Blöcke unterteilt, die sich an den Forschungsfragen orientieren:

- Selbstwirksamkeit und Aneignung von KI: Die Fragen zielen darauf ab, wie Mitarbeitende KI-Systeme aktiv gestalten und in ihre Arbeitsprozesse integrieren. Beispielhafte Fragen lauten: „Wie schätzen Sie Ihre Fähigkeit ein, generative KI effektiv in Ihrer Arbeit einzusetzen?“ oder „Können Sie ein konkretes Beispiel nennen, bei dem Sie durch KI-Nutzung eine Arbeitsaufgabe besser bewältigen konnten?“ Theoretisch wird dieser Block durch die Selbstwirksamkeitstheorie (Bandura 1997) und das Konzept der Technikaneignung (vgl. Kern & Schumann 1985) untermauert.
- Organisatorische Ressourcen und Kontrollmechanismen: Hier wird untersucht, wie Organisationen die Nutzung von KI strukturieren und welche Ressourcen (z. B. Schulungen, Freiräume) sie bereitstellen, um Selbstbestimmung zu fördern oder Determinierung zu verstärken. Beispielhafte Fragen sind: „Wie wird die Nutzung von KI in Ihrem Unternehmen organisiert?“ oder „Werden Sie in Entscheidungen zur Einführung oder Gestaltung von KI-Systemen einbezogen?“ Theoretisch wird dieser Block durch die soziotechnische Systemgestaltung (Parker & Grote 2022; Hirsch-Kreinsen 2018) und organisatorische Autonomie (vgl. Kern & Schumann 1985) unterstützt.

- Technologische Charakteristika von KI-Systemen: Dieser Block fokussiert die Eigenschaften der KI-Systeme selbst und deren Einfluss auf Selbstbestimmung oder Determinierung. Beispielhafte Fragen lauten: „Welche Eigenschaften der KI-Systeme, die Sie nutzen, empfinden Sie als besonders hilfreich oder hinderlich?“ oder „Verstehen Sie, wie die KI-Systeme, die Sie nutzen, Entscheidungen treffen?“ Theoretisch wird dieser Block durch die Technikdeterminismus-Debatte (Zuboff 2019) und die Mensch-Maschine-Interaktion (vgl. Kern & Schumann 1985) fundiert.

5. Diskussion

Die vorliegende konzeptionelle Arbeit ermöglicht eine systematische Operationalisierung für eine quantitative Erforschung der Auswirkungen generativer KI auf die Arbeitswelt, indem sie die subjektiven Erfahrungen von Mitarbeitenden mit den soziotechnischen Rahmenbedingungen verknüpft. Durch die empirische Untersuchung der drei zentralen Forschungsfragen werden theoretisch fundierte und praxisrelevante Erkenntnisse erwartet, die sowohl für die Wissenschaft als auch für die Arbeitsgestaltung von Bedeutung sind.

- Individuelle Aneignungsstrategien und Selbstwirksamkeit: Die Analyse der Handlungsweisen von Mitarbeitenden im Umgang mit KI-Systemen wird Aufschluss darüber geben, wie Technik-Selbstwirksamkeit entsteht und welche subjektiven Strategien zur aktiven Gestaltung von KI beitragen. Besonders relevant ist dabei die Frage, ob und wie Mitarbeitende KI als Werkzeug der Selbstbestimmung nutzen oder ob sie sich durch technologische Determinierung in ihrer Handlungsfähigkeit eingeschränkt fühlen. Aus diesen Erkenntnissen können Empfehlungen für die Förderung von KI-Literacy und die Stärkung individueller Kompetenzen abgeleitet werden.
- Organisatorische Gestaltungsfaktoren: Die Untersuchung der Ressourcen und Kontrollmechanismen, die Organisationen bereitstellen, wird zeigen, wie partizipative Einführungsstrategien, Schulungsprogramme und agile Arbeitsformen die Selbstbestimmung von Mitarbeitenden fördern oder einschränken. Hieraus lassen sich Handlungsempfehlungen für die Gestaltung von Arbeitsumgebungen ableiten, die KI als ermöglichendes Werkzeug statt als kontrollierende Instanz nutzen.
- Technologische Charakteristika von KI-Systemen: Die Analyse der Eigenschaften generativer KI wird klären, welche technologischen Merkmale (z. B. Dialogfähigkeit, Transparenz, Lernfähigkeit) Selbstbestimmung fördern oder Determinierung verstärken. Diese Erkenntnisse sind entscheidend für die Entwicklung von KI-Systemen, die menschenzentriert gestaltet sind und Handlungsspielräume eröffnen.

Theoretische und praktische Implikationen: Die Ergebnisse dieser Studie werden nicht nur die soziotechnische Theorie erweitern, sondern auch konkrete Handlungsempfehlungen für die Praxis liefern. Sie können dazu beitragen,

- KI-Systeme so zu gestalten, dass sie die Autonomie und Selbstwirksamkeit von Mitarbeitenden stärken,
- organisatorische Rahmenbedingungen zu schaffen, die partizipative KI-Nutzung fördern,
- Schulungs- und Qualifizierungsprogramme zu entwickeln, die KI-Literacy und Technik-Selbstwirksamkeit erhöhen.

Darüber hinaus wird die Studie Anknüpfungspunkte für weitere Forschung bieten, insbesondere zur langfristigen Entwicklung von Arbeitsformen in einer zunehmend digitalisierten Welt. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Branchen und Arbeitskontexte sollte in zukünftigen Studien geprüft werden, um ein umfassenderes Verständnis der Auswirkungen generativer KI auf die Arbeitswelt zu gewinnen.

6. Literatur

Bandura A (1997) Self-Efficacy: The Exercise of Control. W.H. Freeman.

Bendel A, Latniak E (2023) “Weiter so mit MTO? Konzeptionelle Entwicklungsbedarfe soziotechnischer Arbeits- und Systemgestaltung.” Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO) 54 (1): 9–26. https://doi.org/10.1007/s11612-023-00669-6.

Braverman H (1985) Die Arbeit im modernen Produktionsprozess. 2. Aufl. der Studienausg. Campus-Verlag.

Brynjolfsson E, Li D., Raymond L (2025) “Generative AI at Work.” The Quarterly Journal of Economics 140 (2): 889–942. https://doi.org/10.1093/qje/qjae044.

Compeau DR, Higgins CA (1995) “Computer Self-Efficacy: Development of a Measure and Initial Test.” MIS Quarterly 19 (2): 189. https://doi.org/10.2307/249688.

Deci EL, Ryan RM (2008) “Self-Determination Theory: A Macrotheory of Human Motivation, Development, and Health.” Canadian Psychology / Psychologie Canadienne 49 (3): 182–85. https://doi.org/10.1037/a0012801.

Giering O (2022) “Künstliche Intelligenz und Arbeit: Betrachtungen zwischen Prognose und betrieblicher Realität.” Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 76 (1): 50–64. https://doi.org/10.1007/s41449-021-00289-0.

Hirsch-Kreinsen H (2018) “Das Konzept des Soziotechnischen Systems - revisited.” AIS-Studien, ahead of print. https://doi.org/10.21241/SSOAR.64859.

Kern H, Schumann M (1985) Industriearbeit und Arbeiterbewusstsein: Eine empirische Untersuchung über den Einfluß der aktuellen technischen Entwicklung auf die industrielle Arbeit und das Arbeiterbewußtsein. 1. Aufl. [Suhrkamp-Taschenbuch / Wissenschaft] Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft 549. Suhrkamp.

Kirchner S, Meyer SC, Tisch A. (2020) Digitaler Taylorismus Für Einige, Digitale Selbstbestimmung Für Die Anderen? Ungleichheit Der Autonomie in Unterschiedlichen Tätigkeitsdomänen. https://doi.org/10.21934/BAUA:FOKUS20200626.

Langholf Va, Wilkens U (2024) “Pathway to Work with AI: Testing the clAIr Role Development Method in an Industrial Work Environment.” Zeitschrift Für Arbeitswissenschaft 78 (3): 377–86. https://doi.org/10.1007/s41449-024-00435-4.

Marx K (2020) Das Kapital. 3: Der Gesamtprozess der kapitalistischen Produktion / Karl Marx. Nikol Verlag.

Parker SK, Grote G (2022) “More Than ‘More Than Ever’: Revisiting a Work Design and Sociotechnical Perspective on Digital Technologies.” Applied Psychology 71 (4): 1215–23. https://doi.org/10.1111/apps.12425.

Passalacqua M, Pellerin R, Magnani F, (2025) “Human-Centred AI in Industry 5.0: A Systematic Review.” International Journal of Production Research 63 (7): 2638–69. https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2406021.

Zuboff S (2019) The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power. Profile books.

Danksagung: Ganz besonderen Dank gilt Felix Erler und Kai Hemmerling von Arbeit und Leben Sachsen, die die ursprünglichen Ideen mit mir reflektierten. Leider entwickelte sich der Schwerpunkt in eine andere Richtung. Grundlage dieses Beitrags ist das Projekt SmartVET:KI – gefördert von der Sächsischen Aufbaubank und das Projekt Perspektive Arbeit Lausitz – gefördert vom Bundesministerium für Forschung, Bildung und Raumfahrt.

Digitale Menschmodell-Simulation und KI-basiertes Ergonomie-Screening in der Zustelllogistik – ein praxisorientierter Vergleich

Patrick RUPPRECHT, Walter MAYRHOFER

Institute for Digital Transformation and Strategy (IDS), FH Wien der WKW
Währinger Gürtel 97, A-1180 Wien

Kurzfassung: Be- und Entladeprozesse in der Kurier-, Express- und Paketlogistik (KEP) sind durch Lastenhandhabung, ungünstige Körperhaltungen und hohe Wegeanteile ergonomisch relevant. Der Beitrag vergleicht zwei digitale Systemklassen: (1) DHM-gestützte Prozesssimulation in ema Work Designer (EAWS/MTM) zur Variantenplanung sowie (2) videobasiertes KI-Screening mit Ergo4All zur schnellen Feldpriorisierung ergonomischer Hotspots. Simulationsergebnisse aus Rupprecht (2025) dienen als Referenzrahmen; im Mini-Pilot liefert die App „Ergo4All“ segment- und zeitbasierte Belastungsprofile mit Ereigniserkennung (Heben/Tragen) bei Time-to-Insight im Sekundenbereich. Abgeleitet wird ein kombinierter Implementierungspfad, welcher ein Screening zur Priorisierung und DHM-Simulation zur quantitativen Maßnahmenbewertung vorsieht.

Schlüsselwörter: Digitale Menschmodelle, EAWS, videobasierte Ergonomieanalyse, Zustelllogistik, Be- und Entladen, Heben und Tragen

1. Einleitung

Die Kurier-, Express- und Paketlogistik (KEP) ist durch hohe operative Dynamik sowie wiederkehrende manuelle Handhabungsprozesse geprägt, insbesondere im Be- und Entladen von Lieferfahrzeugen. Diese Tätigkeiten sind häufig mit ungünstigen Körperhaltungen, repetitiven Bewegungen und Lastenhandhabung verbunden und damit ergonomisch relevant (Schlick et al. 2018; Schaub et al. 2012, Rupprecht 2025).

Digitale Menschmodelle/ Digital Human Models (DHM) in Verbindung mit Prozesssimulation ermöglichen die prozessintegrierte Bewertung von Arbeitsabläufen einschließlich standardisierter Zeitbewertung (z. B. MTM) und ergonomische Bewertung (z. B. EAWS) in einem konsistenten Prozessmodell. Des Weiteren Weiters etablieren sich z. T. KI-gestützte, videobasierte Ansätze, die ohne spezielle Hardware eine niedrigschwellige, schnelle Erstbewertung ergonomischer Risiken unterstützen und die Ergebnisinterpretation durch Praktiker*innen erlauben (Bellmann, et al. 2017; Schlund et al. 2022; Kostolani et al. 2022; TU Wien 2025; Liebchen et al. 2025).

Ziel dieser Arbeit ist der praxisorientierte Vergleich zweier digitaler Systemklassen zur ergonomischen Bewertung von Be-/Entladeprozessen in der KEP-Logistik: (1) DHM-gestützte Prozesssimulation in ema Work Designer mit EAWS- und MTM-Auswertung zur Variantenplanung und quantitativen Wirksamkeitsprüfung von Maßnahmen (imk Industrial Intelligence GmbH 2026) sowie (2) videobasiertes, KI-gestütztes Screening zur schnellen Identifikation und Priorisierung ergonomischer Hotspots im Feld (TU Wien 2025).

Die leitende Forschungsfrage lautet: *Wie können DHM-Simulation und videobasiertes KI-Screening komplementär eingesetzt werden, um physische Belastungen zu reduzieren und zugleich Effizienz- sowie Umsetzungsfähigkeit in der Zustelllogistik zu verbessern?*

2. Stand der Forschung (Ergonomie, digitale Simulation)

Digitale Ergonomieanalysen lassen sich in zwei komplementäre Systemklassen einteilen: (i) DHM-gestützte Prozesssimulationen, die Bewegungsabläufe, Lastenhandhabung und Zeitlogik in einem konsistenten Prozessmodell abbilden und dadurch eine integrierte Bewertung von Prozesseffizienz und Ergonomie ermöglichen, sowie (ii) videobasierte, zunehmend KI-gestützte Screening-Ansätze auf Basis automatisierter Pose-Erkennung, die vor allem posturale Risiken zeitlich aufgelöst sichtbar machen (Schaub et al. 2012; Spitzhirn et al. 2018; Kostolani et al. 2022).

DHM-Simulationen werden in der Arbeitsgestaltung insbesondere dort eingesetzt, wo Varianten- und Engineering-Entscheidungen abzusichern sind: Durch die Kopplung standardisierter Zeitbausteine (z. B. MTM) mit ergonomischen Bewertungsverfahren (z. B. EAWS) können Maßnahmenwirkungen auf Belastung und Prozesskennzahlen konsistent quantifiziert und zwischen Varianten verglichen werden. Dem steht ein höherer Aufwand für Modellierung, Parametrisierung und Expertise gegenüber, wodurch der Einsatz typischerweise in Planungs- und Re-Design-Phasen verortet ist (Schaub et al. 2012; Spitzhirn et al. 2018). DHM-basierte Arbeitsplanung und digitale Ergonomie sind zudem in Ausbildung und Work-Planning-Kontexten breit verankert (Schlund et al. 2022).

Ergänzend gewinnen automatisierte, videobasierte Ansätze zur ergonomischen Erstbewertung an Bedeutung, insbesondere für niedrigschwellige Screenings im Feld (Kostolani et al. 2022; TU Wien 2025). Eine Implementierung in der Logistik ist damit weniger eine „Entweder-oder“-Frage, sondern eher eine der Identifizierung eines komplementären Vorgehens. Eine sinnvolle Operationalisierung ist das Screening zur Hotspot-Priorisierung im Feld und eine nachfolgende DHM-Simulation zur detaillierten Maßnahmenauslegung und Wirksamkeitsprüfung sein. Ein praxisorientierter Vergleich beider Systemklassen im selben Be-/Entlade-Use-Case ist jedoch selten transparent dokumentiert und wird im vorliegenden Beitrag adressiert. Der Beitrag fokussiert damit weniger die erneute Darstellung der Simulationsresultate, sondern die praxisorientierte Einordnung und Anschlussfähigkeit eines videobasierten Screenings mittels einer zusammen von der TU Wien und FH St. Pölten entwickelten mobilen App (Ergo4All-App) als vorgelagerter Schritt für ergonomische Entscheidungen.

3. Methodik und Use Case

3.1 Use Case

Untersucht wird ein Be-/Entladeprozess als Szenariovergleich: (S1) manuelle Beladung mit Kartonagen und (S2) alternatives Szenario mit Mehrwegboxen, Regalsystem und robotischer Kommissionierung. Beide Szenarien sind so definiert, dass sie bei gleicher Stückzahl eine vergleichende Gegenüberstellung von Zeit/Weg und EAWS ermöglichen. Abbildung 1 zeigt das Layout von S1 mit A (Bereitstellung), B (Zwischenablage) und C (Fahrzeug/Laderaum) sowie den zugrunde gelegten

Distanzen A–B = 5 m und B–C = 10 m (Rupprecht 2025).

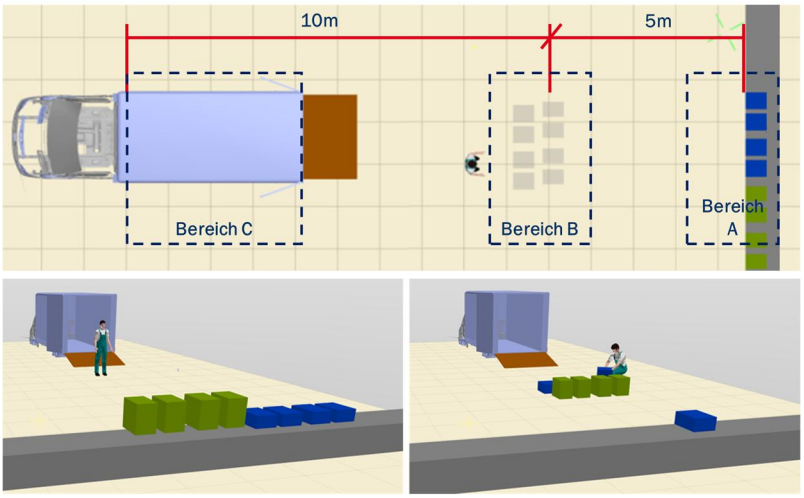


***Abbildung 1**: Layout und Prozessbereiche des Referenzszenarios S1 (A = Bereitstellung/Übergabe, B = Zwischenablage, C = Fahrzeug/Laderaum) mit zugrunde gelegten Distanzen A–B = 5 m und B–C = 10 m (angelehnt an Rupprecht 2025).*

Als Kontextanker werden für den Szenariovergleich die in Rupprecht (2025) berichteten Simulationskennzahlen herangezogen: Für eine LKW-Beladung mit 128 Ladeeinheiten werden für S1 (Kartonboxen) 69 min Beladezeit, 3845 m Laufweg und 48 EAWS-Punkte (gelb) ausgewiesen, während S2 (Mehrwegboxen/Regal/Roboter) 6 min, 335 m und 11 EAWS-Punkte (grün) erreicht. Diese Kennzahlen dienen im vorliegenden Beitrag nicht als neues Ergebnis, sondern als Referenzrahmen für die Einordnung des videobasierten Screenings.

3.2 Systeme / Tools

In ema Work Designer erfolgt die gekoppelte Prozess- und Ergonomieauswertung (MTM-/Zeitlogik, Wegekennzahlen, EAWS) auf Basis digitaler Menschmodelle zur Variantenbewertung (Schaub et al. 2012; Spitzhirn et al. 2018; imk Industrial Intelligence GmbH 2026). Ergänzend wird Ergo4All als konkreter Vertreter eines videobasierten, segment- und zeitbasierten Screenings betrachtet (TU Wien 2025). Die Einordnung erfolgt entlang der Literatur zu automatisierter, interpretierbarer ergonomischer Analyse auf Basis von Pose-/Videodaten (z. B. Kostolani et al. 2022).

3.3 Mini-Pilot: App-basierte videobasierte Ergonomieanalyse (kontrolliertes Setting)

Zur Ergänzung des Vergleichs wurde ein Mini-Pilot zur app-basierten videobasierten Ergonomieanalyse in einem kontrollierten Setting (Laborraum) durchgeführt. Ziel war kein statistischer Wirksamkeitsnachweis, sondern ein Machbarkeits- und Aufwandstest (proof of applicability) zur Einordnung der Durchführbarkeit, des Workflows und der Ergebnisdarstellung im Screening-Einsatz.

Der Pilot wurde mit der App Ergo4All (TU Wien 2025) im Modus „Freestyle“ durchgeführt. Dieser Modus erkennt automatisiert verschiedene Tätigkeiten (z. B. Heben und Tragen) und ist auf eine maximale Aufnahmezeit von 120 Sekunden begrenzt. Nachgestellt wurde eine repräsentative Teilsequenz des Referenzszenarios S1 (Kartonagen), orientiert an den Prozessbereichen A–B–C (Bereitstellung –

Zwischenablage – Fahrzeug/Laderaum) sowie den zugrunde gelegten Gehwegen. Dabei wurden fünf Kartons einzeln aufgenommen und jeweils vom Bereich A zur Zwischenablage B (5 m) transportiert. Anschließend wurden die fünf Kartons einzeln von der Zwischenablage B in den Bereich C (10 m) verbracht. Die reduzierte Stückzahl (5 Ladeeinheiten) diente der kontrollierten Abbildung typischer Bewegungs- und Haltungssequenzen (Gehen, Heben, Tragen, Absetzen) und ist nicht als Abbildung einer vollständigen Fahrzeugbeladung zu interpretieren.

Der Pilot umfasste n = 1 Teilnehmende und eine Aufnahmezeit von 60 Sekunden (ein Durchlauf). Die Videoaufnahme erfolgte mit einer Smartphone-Kamera durch eine zweite Person; zusätzliche Sensorik oder Marker wurden nicht eingesetzt. Die App-Auswertung erfolgte automatisiert, lieferte segmentbezogene Darstellungen der Belastung im Zeitverlauf sowie eine ereignisbezogene Differenzierung (Heben/ Tragen). Die Ergebnisdarstellung und deren Interpretation erfolgt in Kapitel 4.

4. Ergebnisse

Der Mini-Pilot zeigt, dass die app-basierte videobasierte Ergonomieanalyse mit Ergo4All im Sinne eines First-Level-Screenings für einen nachgestellten Be-/Entladeablauf grundsätzlich durchführbar ist. Die Auswertung stand unmittelbar nach Abschluss der Videoaufnahme zur Verfügung; die Time-to-Insight lag im Sekundenbereich und erforderte weder Modellierung noch zusätzliche Parametrisierung.

Die App lieferte für alle betrachteten Körpersegmente (Schulter, Arm, Rumpf, Nacken, Beine) segmentbezogene Belastungsdarstellungen im Zeitverlauf (Abbildung 2). Die zeitliche Struktur der Verläufe ermöglicht eine phasenbezogene Interpretation: Erhöhte Beanspruchungen zeigten sich insbesondere in Hebe- und Absetzvorgängen (u. a. Arm, Rumpf, Nacken), während Tragephasen überwiegend als kontinuierliche, weniger stark ausgeprägte Beanspruchungen sichtbar wurden. Damit unterstützt die Darstellung die schnelle Identifikation ergonomischer Hotspots entlang der Prozesssequenz.

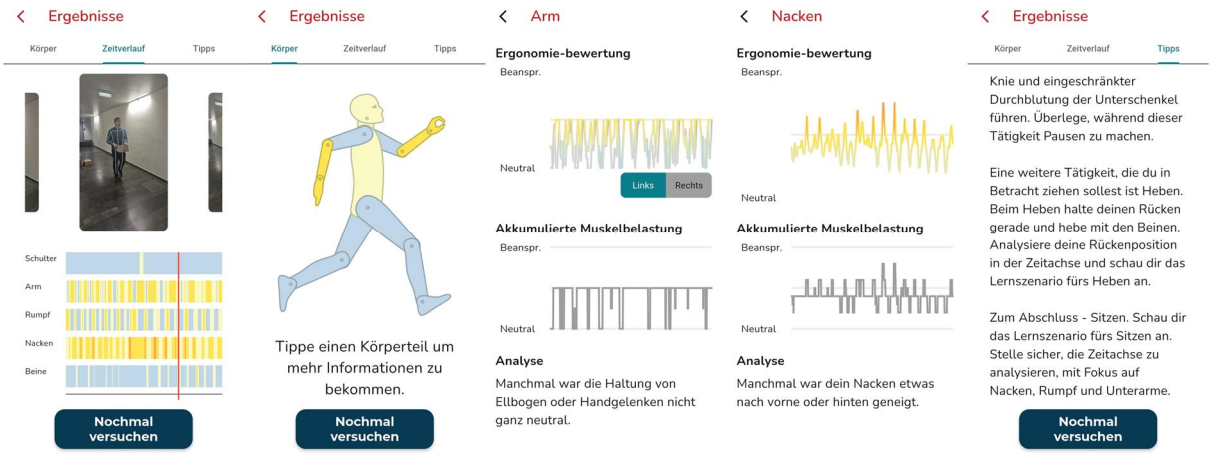


***Abbildung 2**: Ergebnisse des Mini-Pilots mit **Ergo4All** (eigene Erhebung): Segmentbezogene Belastungsdarstellungen im Zeitverlauf (Schulter, Arm, Rumpf, Nacken, Beine) mit automatisierter Ereigniserkennung (Heben/Tragen), Detailansichten einzelner Körpersegmente sowie kontextbezogenen ergonomischen Hinweisen.*

Die Darstellung basiert auf der tatsächlich durchgeführten Videoaufnahme im Modus „Freestyle“ und bildet eine nachgestellte Teilsequenz des Referenzszenarios S1 (Kartonagen) ab. Die implementierte automatisierte Ereigniserkennung (Heben vs. Tragen) erleichtert die Zuordnung von Belastungsspitzen zu konkreten Prozessschritten. Ergänzend unterstützen segmentbezogene Detailansichten sowie kontextbezogene ergonomische Hinweise (Text/Piktogramme) die Kommunikation der Maßnahmen auch ohne vertiefte Ergonomieexpertise.

Die Ergebnisse sind indikativ zu verstehen. Aufgrund des kontrollierten Settings, der reduzierten Sequenz (fünf Kartonagen) und der Stichprobengröße (n = 1) erlauben sie keinen Wirksamkeits- oder Validitätsnachweis. Die App-Auswertung wird daher als Screening-Instrument eingeordnet und nicht als Ersatz für EAWS-basierte Detailbewertungen oder simulationsgestützte Variantenanalysen interpretiert.

5. Diskussion

Die als Kontextanker herangezogenen Simulationsergebnisse zeigen deutliche Unterschiede zwischen S1 und S2 hinsichtlich Prozesskennzahlen (Zeit/Weg) und ergonomischer Belastung (EAWS) (Rupprecht 2025). Der Befund, dass S2 trotz höheren Gesamtgewichts eine geringere EAWS-Bewertung aufweist, unterstreicht die Bedeutung von Handhabungslogik, Standardisierung der Ladeeinheiten sowie Unterstützungs- und Ablagestrukturen als zentrale Determinanten der Gesamtbelastung.

Vor diesem Hintergrund wird eine klare funktionale Rollenteilung digitaler Systeme sichtbar. Die DHM-gestützte Simulation ermöglicht eine ganzkörper- und lastenbezogene Bewertung und die konsistente Quantifizierung von Variantenwirkungen auf EAWS sowie Zeit- und Wegekennzahlen, ist jedoch mit Modellierungs- und Parametrisierungsaufwand verbunden und primär in Planungs- und Re-Design-Phasen verortet. Das videobasierte KI-Screening adressiert demgegenüber eine niedrigschwellige Feldanwendung: Es erlaubt eine schnelle, segment- und zeitbasierte Identifikation potenziell kritischer Prozessphasen (z. B. Heben vs. Tragen) und unterstützt durch nutzernahe Visualisierungen die Ergebnis- und Maßnahmenkommunikation.

Für die praktische Einführbarkeit sind app-spezifische Randbedingungen zu berücksichtigen. Im Modus „Freestyle“ ist die Aufnahmezeit auf 120 s begrenzt; längere Tätigkeiten müssen daher in Teilsequenzen erfasst werden. Die Auswertung ist als unmittelbarer Erstcheck konzipiert, Weiterverarbeitungs- oder Exportmöglichkeiten sind eingeschränkt und sollten bei einem betrieblichen Einsatz frühzeitig berücksichtigt werden. Organisatorisch ist für eine stabile Videoaufnahme in der Regel eine zweite Person erforderlich. Demgegenüber stehen ein minimaler Setup-Aufwand sowie eine hohe Skalierbarkeit für Vor-Ort-Screenings.

Eine pragmatische Anschlussfähigkeit an die DHM-Simulation ergibt sich auf Segment- bzw. Ursachenebene: Zeitlich sichtbare Belastungsschwerpunkte im Screening (z. B. Rumpf/Schulter in Hebe- oder Absetzphasen) korrespondieren mit in EAWS relevanten Haltungs- und Lastkomponenten. Auch ohne direkte metrische Vergleichbarkeit kann das Screening damit als Priorisierungsinput dafür dienen, welche Prozessabschnitte in der Simulation detailliert modelliert und anschließend quantitativ bewertet werden.

Limitationen ergeben sich aus (i) den Modellannahmen der Simulation, (ii) der eingeschränkten Vergleichbarkeit unterschiedlicher Bewertungslogiken (EAWS vs.

segment- und zeitbasierte App-Ausgaben) sowie (iii) dem Pilotcharakter der App-Erhebung (kontrolliertes Setting, kurze Sequenz, n = 1, keine Validierung gegenüber Referenzverfahren oder Feldbedingungen). Zukünftige Arbeiten sollten Ergo4All im Realbetrieb der Logistikbranche evaluieren, etwa im Rahmen von Feldstudien in Zustellbasen oder Be-/Entladezonen unter realen Randbedingungen (z. B. Sichtverdeckung, Kameraperspektive, Beleuchtung, Zeitdruck) und mit einer größeren Stichprobe.

In Beantwortung der eingangs gestellten leitenden Forschungsfrage ergibt sich für die Praxis daraus ein komplementärer Implementierungspfad: (1) videobasiertes Screening zur schnellen Feldpriorisierung ergonomischer Hotspots, (2) Auswahl priorisierter Prozesse oder Teilschritte, (3) DHM-Simulation zur Variantenplanung und quantitativen Wirksamkeitsprüfung (EAWS/MTM, Zeit/Weg) sowie (4) Rückkopplung umgesetzter Maßnahmen durch Feldtests und erneutes Screening.

6. Literatur

Bellmann, V. K.; Brede, S.; Nyhuis, P. (2017): Ergonomiebewertung 4.0 - Echtzeitfähige und kamerabasierte Ergonomiebewertung und Maßnahmenableitung in der Montage, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 112 (9), p. 588-592.

Fischer, C., Rupprecht, P., Schlund, S. (2023). Different approaches of conducting ergonomic assessment utilizing digital human models and motion capture in industrial site assembly. In: Tareq Ahram, Waldemar Karwowski, Pepetto Di Bucchianico, Redha Taiar, Luca Casarotto and Pietro Costa (eds) Intelligent Human Systems Integration (IHSI 2023): Integrating People and Intelligent Systems. AHFE (2023) International Conference. AHFE Open Access, vol 69. AHFE International, USA. http://doi.org/10.54941/ahfe1002854.

imk Industrial Intelligence GmbH (2026). *ema Work Designer – Software für digitale Arbeitsplanung und Ergonomiesimulation*. Produktseite. https://www.imk-ema.com/ema-work-designer, Zugriff am 13.01.2026.

Kostolani, D., Wollendorfer, M. & Schlund, S. (2022). ErgoMaps: Towards Interpretable and Accessible Automated Ergonomic Analysis. *2022 IEEE 3rd International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS)*, Orlando, FL, USA, 2022, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICHMS56717.2022.9980741.

Liebchen, J., Vur, B., & Freitag, M. (2025). Eine kamerabasierte Methode zur Ergonomieanalyse. Industry 4.0 Science, 2025, 41. Jg., Nr. 5, S.120-126. https://doi.org/10.30844/I4SD.25.5.120.

MTM ASSOCIATION e. V. (2024). *MTM (Methods-Time Measurement)*. https://www.mtm.org, Zugriff am 13.01.2026.

Rupprecht, P. (2025). Mehrweg als Chance für eine ergonomische Paketlogistik. In: Schneikart, G., Mayrhofer, W., Entenfellner, P., Holzleithner, A. (eds) Mehrweg als Ausweg. Forschung und Praxis an der FHWien der WKW. Springer Gabler, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-48680-8_7.

Schaub, K., Caragnano, G., Britzke, B., & Bruder, R. (2012). The European Assembly Worksheet. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, *14*(6), 616–639. https://doi.org/10.1080/1463922X.2012.678283.

Schlick, C., Bruder, R. & Luczak, H. (2018). Arbeitswissenschaft. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56037-2.

Schlund, S., Kamusella, C., Knott, V. *et al.* Digital ergonomics and digital work planning in university education: experiences from Germany and Austria. *Z. Arb. Wiss.* **76**, 510–524 (2022). https://doi.org/10.1007/s41449-022-00333-7.

Spitzhirn, M., Kuhlang, P. & Bullinger-Hoffmann, A. C. (2018). Digitalization of the ergonomic assessment worksheet – user requirements for EAWS digital evaluation functions. Congress of the International Ergonomics Association (S. 272–282). Springer, Cham.

TU Wien (2025). *Ergo4All (Ergonomics for All)*. Projektseite. https://www.tuwien. at/mwbw/im/ie/mmi/forschung/ergo4a-ergonomics-for-all, Zugriff am 13.01.2026.

Interaktive Annotation von arbeitsbedingten Körperhaltungen in Motion-Capture-Daten

Mathias GEWISSEN[1], Markus WACKER[1], Edgar SCHERSTJANOI[2]

[1] Fakultät Informatik/Mathematik, HTW Dresden
Friedrich-List-Platz 1, D-01069 Dresden
[2] Professur für Arbeitswissenschaft, TU Dresden
Dürerstraße 26, D-01307 Dresden

Kurzfassung: In der arbeitsergonomischen Forschung kommen Motion-Capture-Daten (MoCap) zum Einsatz, um Risikofaktoren realer Tätigkeiten zu analysieren. Uneinheitliche Formate, unterschiedliche Skelett-Definitionen und begrenzte Softwareunterstützung erschweren jedoch vergleichende Auswertungen. Dieser Beitrag stellt eine interaktive 3D-Labeling-Software vor, die verschiedene MoCap-Formate einlesen kann, visualisiert, und in der diese Daten ergonomisch annotiert werden können. Die Daten werden dafür in ein standardisiertes NumPy-Array überführt, das eine einheitliche Grundlage für Analyse und Klassifikation bietet. Die Anwendung kombiniert eine 3D-Ansicht mit einer freien Kamera, framegenaues Playback und eine geführte Nutzermaske zur Bewertung von Körperhaltungen nach RULA und OWAS. Dadurch wird die Erstellung qualitativ hochwertiger Labels für datengetriebene Methoden wie Machine Learning erleichtert. Insgesamt reduziert die Software den Aufwand manueller Label-Arbeit und unterstützt den Aufbau Domänen-spezifischer Datensätze für ergonomische Analysen.

Schlüsselwörter: Motion Capture, Ergonomie-Methoden, 3D-Labeling, Machine learning, ergonomische Bewertung, ergonomische Risikobeurteilung

1. Einleitung

Motion-Capture-Systeme (MoCap-Systeme) haben sich in der arbeits-ergonomischen Forschung als wichtiges Instrument etabliert, um Körperhaltungen, Bewegungsabläufe und physische Belastungen objektiv zu erfassen und zu analysieren (Scataglini *et al.*, 2025). Insbesondere bei der Bewertung von Arbeitstätigkeiten ermöglicht Motion-Capture eine detaillierte Betrachtung dynamischer Bewegungen, die mit klassischen Beobachtungs- oder Befragungsmethoden nur eingeschränkt abbildbar sind. Trotz dieser Vorteile ist die praktische Nutzung von MoCap-Daten in ergonomischen Anwendungsfällen nach wie vor mit erheblichen Herausforderungen verbunden: Ein zentrales Problem stellt die starke Heterogenität bestehender MoCap-Formate und Skelett-Definitionen dar. Abhängig vom verwendeten Erfassungssystem, Hersteller oder Exportformat liegen Bewegungsdaten in unterschiedlichen Dateiformaten, Koordinatensystemen und Skelettmodellen vor. Eine fehlende Standardisierung erschwert nicht nur den Vergleich zwischen Studien, sondern verhindert auch eine effiziente Weiterverarbeitung, Wiederverwendung und automatisierte Analyse der Daten (Rybnikár *et al.*, 2023). Insbesondere für datengetriebene Ansätze, etwa im Kontext

von Machine Learning, stellt die mangelnde Vereinheitlichung eine erhebliche Hürde dar. Darüber hinaus existieren nur wenige Softwarelösungen, die eine gezielte ergonomische Annotation von Motion-Capture-Daten unterstützen. Vorhandene Tools fokussieren sich häufig auf Animation, Visualisierung oder biomechanische Auswertung. Eine Funktion zur Annotation von Körperhaltungen, bspw. entsprechend den Verfahren RULA oder OWAS, steht oftmals nicht zur Verfügung (González-Alonso *et al.*, 2025). Vor diesem Hintergrund besteht ein klarer Bedarf an Softwarelösungen, die sowohl die Heterogenität von MoCap-Daten adressieren als auch eine strukturierte, nachvollziehbare und ergonomiespezifische Label-Erstellung ermöglichen. Damit wird der Weg zur Bewertung von Körperhaltung mit Machine Learning erleichtert, um schneller mehr Daten auszuwerten. Der vorliegende Beitrag setzt an dieser Problemstellung an und stellt eine interaktive 3D-Labeling-Software vor, die unterschiedliche MoCap-Formate vereinheitlicht und eine ergonomische Annotation von Bewegungsdaten unterstützt.

2. Stand der Forschung

Die Analyse menschlicher Bewegung ist ein zentrales Forschungsfeld in verschiedenen Disziplinen wie Arbeitswissenschaft, Biomechanik, Robotik und Computergrafik. Unabhängig vom jeweiligen Anwendungsgebiet basieren die meisten Analysen auf raum-zeitlichen Skelettrepräsentationen, also zeitabhängigen Positionen und/oder Orientierungen von Körpersegmenten oder Gelenken. Diese Repräsentation bildet die Grundlage menschlicher Bewegung und erlaubt eine domänenübergreifende Weiterverarbeitung, wie etwa für die ergonomische Bewertung mittels datengetriebener Modellierung (Han *et al.*, 2017).

2.1 Einheitliche Standardisierung

Trotz der weiten Verbreitung von Motion-Capture-Technologien fehlt bis heute eine einheitliche Standardisierung zur Repräsentation solcher Bewegungsdaten. Wie Mandery et al. (2016) zeigen, unterscheiden sich Datensätze erheblich hinsichtlich Dateiformaten, Skeletttopologien, Gelenkdefinitionen, Koordinatensystemen und zeitlicher Auflösung. Diese Heterogenität ist nicht nur auf unterschiedliche Erfassungstechnologien wie 2D-Bildverarbeitungssysteme, inertiale oder tiefenbildbasierte Systeme zurückzuführen, sondern auch auf anwendungsspezifische Datenstrukturen bei der Abstraktion des menschlichen Körpers.

Historisch etablierte MoCap-Formate wie BVH, ASF/AMC oder C3D werden zwar weiterhin häufig genutzt, bieten jedoch keine ausreichende Grundlage für eine konsistente und interoperable Nutzung. Neuere Formate wie MVNX (Roetenberg *et al.*, 2009), MMM (Mandery *et al.*, 2016) oder SMPL-X (Loper *et al.*, 2023) befassen sich mit einzelnen Aspekten dieser Problematik, etwa durch die Integration zusätzlicher Metadaten oder eine bessere Anbindung an Machine-Learning-Pipelines. Sie führten jedoch bisher ebenfalls nicht zu einer allgemein akzeptierten Standardlösung. In vielen Fällen werden zudem allgemeine, nicht spezifisch auf MoCap-Daten und deren Metadaten ausgerichtete Speicherformate wie CSV, MAT oder NPY verwendet, wodurch die semantische Interpretation der Daten vollständig von externer Dokumentation abhängt (Mahmood *et al.*, 2019).

2.2 Software für ergonomiespezifische Annotationen

Neben der strukturellen Heterogenität der Daten besteht ein weiterer wesentlicher Engpass in der fehlenden softwareseitigen Unterstützung für ergonomiespezifische Annotationen. Während zahlreiche Werkzeuge zur Visualisierung, Animation oder biomechanischen Analyse existieren, beinhalten diese meist nicht die Anforderungen ergonomischer Bewertungsmethoden wie RULA oder OWAS. Etablierte Verfahren werden oftmals automatisiert anhand der räumlichen Ausprägung der Körpersegmente oder manuell durch Beobachtung angewendet. Die Label-Erstellung ist somit systemabhängig und ohne direkte Kopplung an standardisierte Bewegungsrepräsentationen, was die Nachvollziehbarkeit und Wiederverwendbarkeit der Daten einschränkt (Deshpande *et al.*, 2025).

3. Methodik

Zur Unterstützung der ergonomischen Analyse, Annotation und Weiterverarbeitung von Motion-Capture-Daten wurde eine Web-basierte Server-Client-Anwendung entwickelt. Ziel der Anwendung ist es, heterogene MoCap-Datenformate strukturell zu vereinheitlichen, deren ergonomische Bewertung zu unterstützen und die resultierenden Annotationen reproduzierbar für datengetriebene Analysen nutzbar zu machen. Die Software wurde modular aufgebaut, um sowohl technologische Erweiterungen als auch die Integration weiterer ergonomischer Bewertungsmethoden zu ermöglichen. Es wird angestrebt, eine möglichst umfassende Analysesoftware zu entwickeln, die offen zur allgemeinen Verwendung und Weiterentwicklung verfügbar gemacht werden soll.

3.1 Systemarchitektur und Datenverarbeitung

Die Anwendung folgt einer Server-Client-Architektur, bei der datenintensive Verarbeitungsschritte im Backend ausgeführt werden, während die interaktive Visualisierung und Annotation im Webbrowser erfolgt. Zudem entfällt bei einem Web-basierten Werkzeug eine intensive Wartung für verschiedene Betriebssysteme. Zur Einbindung unterschiedlicher digitaler Bewegungssequenzen wurden Format-spezifische Parser implementiert, die verschiedene gängige Motion-Capture-Formate (u. a. BVH, MVNX, CSV) einlesen können. Diese Parser abstrahieren systemspezifische Unterschiede in Dateistruktur, Koordinatensystemen und Skelettdefinitionen und speichern die Daten in einem serialisierten und tabellarischen Daten-Format. Durch diese Konvertierungsmechanismen werden heterogene Motion-Capture-Daten in eine einheitliche, aggregierte Datenbasis überführt. Unabhängig vom Ursprungsformat werden alle eingelesenen Bewegungsdaten in eine interne Repräsentation konvertiert. Dabei werden die raum-zeitlichen Gelenkbewegungen in einer mehrdimensionalen Datenstruktur (Python, NumPy - .npy) gespeichert, welches die zeitliche Abfolge der Gelenkpositionen bzw. -orientierungen abbildet. Die zugehörige Skeletttopologie, einschließlich Gelenkhierarchie, Segmentbezeichnungen und weiterer Metadaten, wird separat in einer .json-Datei abgelegt.

Diese standardisierte Aufteilung ermöglicht es, Bewegungssequenzen aus unterschiedlichen Erfassungssystemen gemeinsam zu verwalten, zu vergleichen und weiterzuverarbeiten.

3.2 Visualisierungskomponente und interaktive Analyse

Die konvertierten .npy- und .json-Dateien werden in einer Web-basierten 3D-Visualisierung geladen, die auf einer Three.js-Engine basiert. Die Anwendung erlaubt ein framegenaues Abspielen der Bewegungssequenzen und stellt den zeitlichen Verlauf der Bewegung über einen interaktiven Zeitschieber auf einem Zeitstrahl dar. Zusätzlich ist durch Hovern über den Zeitstrahl eine 3D-Vorschau-Funktion integriert, die eine schnelle Navigation innerhalb der Bewegungssequenz unterstützt (siehe Abbildung 1, Bildmitte). Ein zentrales Gestaltungsmerkmal der Anwendung ist die frei bewegliche Kamera. Diese ermöglicht es Anwendenden, Bewegungen aus beliebigen Perspektiven zu betrachten und zu bewerten. Gerade für ergonomische Analysen ist die Möglichkeit zum Perspektivwechsel wichtig und entscheidend, da belastende Körperhaltungen oder ungünstige Gelenkwinkel je nach Blickrichtung unterschiedlich gut erkennbar sind. Die Kombination aus 3D-Visualisierung, freier Kamera und framegenauem Playback verbessert somit die Nachvollziehbarkeit und Genauigkeit der Beobachtung und anschließenden Bewertung.

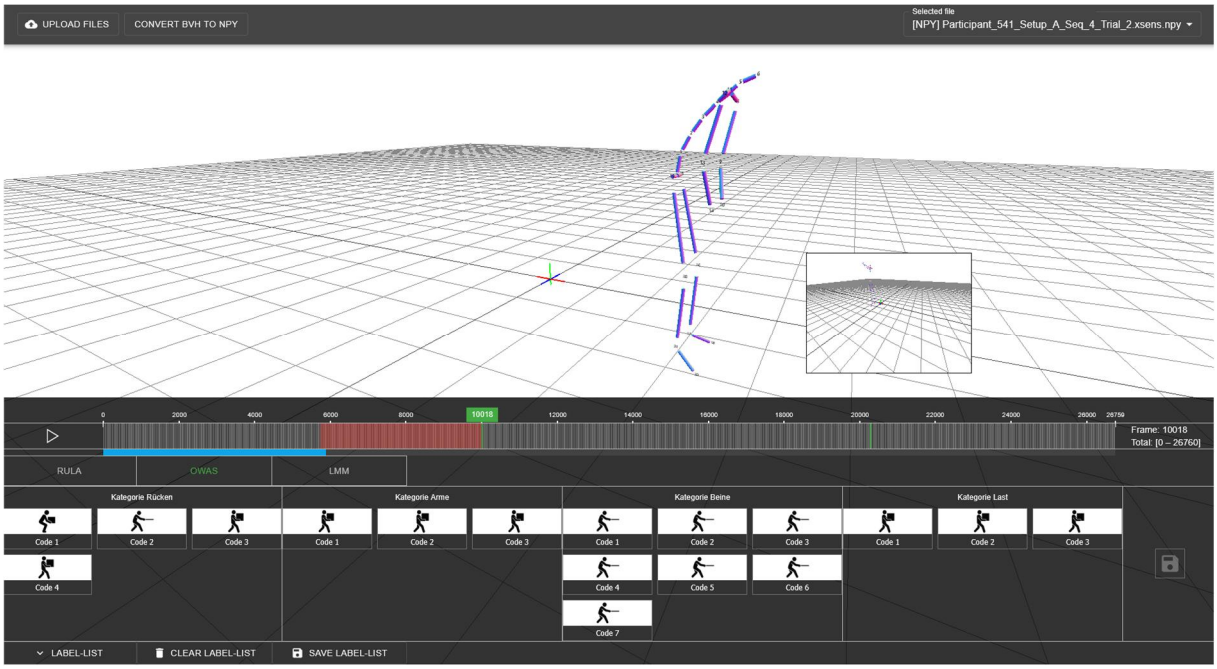


***Abbildung 1**: Benutzeroberfläche der Software zur ergonomischen Annotation von Motion-Capture-Daten mit 3D-Visualisierung, framegenauer Navigation und OWAS-basierter Bewertung. Vorhandene und neu erstellte ergonomische Labels sind entlang der Zeitachse dargestellt.*

3.3 Ergonomische Bewertung und Annotation

Für die ergonomische Analyse wurde ein geführter Workflow implementiert, der sich an den etablierten Bewertungsmethoden RULA und OWAS orientiert. Die Nutzerführung ist so gestaltet, dass Anwendende systematisch durch die einzelnen Bewertungsschritte geleitet werden und relevante Körperhaltungen gezielt klassifizieren können. Die ergonomische Bewertung erfolgt dabei direkt auf den visualisierten MoCap-Daten. Alle Eingaben, Entscheidungen und Klassifikationsergebnisse werden im Backend protokolliert und als strukturierte JSON-Labels gespeichert. Diese Labels sind eindeutig mit den jeweiligen Zeitabschnitten und

Bewegungssequenzen verknüpft und enthalten sowohl die ergonomische Klassifikation als auch relevante Metainformationen.

3.4 Datenaufbereitung und Normalisierung

Zusätzlich zur Annotation wurden im Backend erste Verfahren zur Normalisierung der Motion-Capture-Daten implementiert, um typische Unterschiede zwischen Datensätzen, wie beispielsweise unterschiedliche Körpergrößen, globale Orientierung im Raum oder variierende zeitliche Auflösungen auszugleichen. Ziel dieser Vorverarbeitung ist es, die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Bewegungssequenzen zu erhöhen und eine konsistente Grundlage für statistische und datengetriebene Analysen zu schaffen. Die Normalisierungsschritte sind ebenfalls modular umgesetzt und können je nach Anwendungsfall erweitert werden. Dadurch eignet sich die Software nicht nur für die manuelle ergonomische Bewertung, sondern auch als vorbereitende Stufe für Machine-Learning-Algorithmen, die eine einheitliche Datenstruktur voraussetzen.

3.5 Erweiterbarkeit

Die entwickelte Softwarearchitektur ist modular und erweiterbar ausgelegt und folgt im Frontend einem React-basierten Container–Presenter-Pattern. Dabei sind Datenhaltung, Anwendungslogik und Zustandsverwaltung klar von der Präsentations- und Interaktionsebene getrennt. Diese Trennung ermöglicht es, neue Funktionalitäten – wie zusätzliche MoCap-Parser oder ergonomische Bewertungsmethoden – ohne grundlegende Änderungen an bestehenden Komponenten zu integrieren und fördert zugleich die Wartbarkeit und Nachvollziehbarkeit der Implementierung. Auch die 3D-Visualisierung ist modular aufgebaut. Neben der reinen Darstellung von Bewegungssequenzen können zusätzliche wissenschaftlich-technische Visualisierungen eingebunden werden, etwa zur Darstellung von Gelenkwinkeln, Segmentachsen, Belastungsindikatoren oder zeitabhängigen Analysegrößen. Dadurch kann die Visualisierung über eine rein illustrative Darstellung hinausgehen und gezielt analytische Fragestellungen unterstützen.

4. Schlussfolgerung und Ausblick

Dieser Beitrag stellt einen Ansatz zur interaktiven Annotation arbeitsbedingter Körperhaltungen in Motion-Capture-Daten vor, der die Heterogenität bestehender Datenformate adressiert und eine ergonomiespezifische Label-Erstellung unterstützt. Durch die Vereinheitlichung unterschiedlicher MoCap-Formate, die 3D-Visualisierung mit freier Kameraführung sowie die Integration etablierter Bewertungsmethoden wie RULA und OWAS wird die Nachvollziehbarkeit von Bewegungsabläufen verbessert und der manuelle Aufwand der Annotation reduziert. Die Trennung von Bewegungsdaten, Skeletttopologie und ergonomischen Labels schafft zudem eine konsistente Grundlage für die Weiterverarbeitung der Daten in statistischen und datengetriebenen Analysen.

Es ist allerdings festzuhalten, dass die aktuell implementierten Verfahren zur Datenaufbereitung und Normalisierung lediglich einen ersten Schritt darstellen. Für den Einsatz in datengetriebenen Verfahren, insbesondere im Kontext von Machine Learning, können weitergehende Normalisierungsstrategien erforderlich sein. Dazu

zählen unter anderem robuste Skalierungs- und Orientierungsnormalisierungen, zeitliche Normalisierung sowie Verfahren zur Vereinheitlichung unterschiedlicher Skeletttopologien. Insbesondere Motion-Retargeting-Ansätze und die Reduktion auf ein definiertes Subset relevanter Gelenke bieten vielversprechende Möglichkeiten, um Bewegungsdaten aus unterschiedlichen Erfassungssystemen in eine gemeinsame, vergleichbare Repräsentation zu überführen.

Zukünftige Arbeiten können daher an der Erweiterung dieser Verfahren zur Datenaufbereitung ansetzen. Auf dieser Basis lassen sich Bewegungsdaten systemübergreifend vergleichbar und gezielt für datengetriebene Analysen nutzbar machen. Darüber hinaus eröffnet die modulare Architektur der Software die Möglichkeit, zusätzliche ergonomische Bewertungsmethoden sowie weiterführende Analyse- und Visualisierungsfunktionen zu integrieren und den Ansatz schrittweise zu einer umfassenden Plattform für die ergonomische Bewegungsanalyse weiterzuentwickeln.

5. Literatur

Deshpande, U.U. et al. (2025) “A review of machine learning techniques for ergonomic risk assessment based on human pose estimation,” Discover Artificial Intelligence, 5(1), p. 287. Available at: https://doi.org/10.1007/s44163-025-00566-5.

González-Alonso, J. et al. (2025) “ME-WARD: A multimodal ergonomic analysis tool for musculoskeletal risk assessment from inertial and video data in working places,” Expert Systems with Applications, 278, p. 127212. Available at: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.127212.

Han, F. et al. (2017) “Space-time representation of people based on 3D skeletal data: A review,” Computer Vision and Image Understanding, 158, pp. 85–105. Available at: https://doi.org/10.1016/j.cviu.2017.01.011.

Loper, M. et al. (2023) “SMPL: A Skinned Multi-Person Linear Model,” in Seminal Graphics Papers: Pushing the Boundaries, Volume 2. 1st ed. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. Available at: https://doi.org/10.1145/3596711.3596800.

Mahmood, N. et al. (2019) “AMASS: Archive of Motion Capture As Surface Shapes,” in Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV).

Mandery, C. et al. (2016) “Unifying Representations and Large-Scale Whole-Body Motion Databases for Studying Human Motion,” IEEE Transactions on Robotics, 32(4), pp. 796–809. Available at: https://doi.org/10.1109/TRO.2016.2572685.

Roetenberg, D. et al. (2009) “Xsens MVN: Full 6DOF human motion tracking using miniature inertial sensors,” Xsens Motion Technologies BV, Tech. Rep, 1(2009), pp. 1–7.

Rybnikár, F. et al. (2023) “Ergonomics Evaluation Using Motion Capture Technology—Literature Review,” Applied Sciences, 13(1). Available at: https://doi.org/10.3390/app13010162.

Scataglini, S. et al. (2025) “A Systematic Review of the Accuracy, Validity, and Reliability of Markerless Versus Marker Camera-Based 3D Motion Capture for Industrial Ergonomic Risk Analysis,” Sensors, 25(17). Available at: https://doi.org/10.3390/s25175513.

Danksagung: Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – 542857478.

Ergonomiebewertung neu gedacht

Manuela OSTERMEIER, Peter KUHLANG

MTM ASSOCIATION e.V.
Elbchaussee 352, D-22609 Hamburg

Kurzfassung: Im Projekt EAWS 2.0 wird eine robuste und praxisorientierte Methode zur Bewertung biomechanischer Belastungen entwickelt, um Arbeitsplätze sicherer zu machen und das Risiko arbeitsbedingter Erkrankungen zu minimieren.
Die Weiterentwicklung der EAWS®-Methode (Ergonomic Assessment Worksheet) zu einer auf einem biomechanischen Modell basierenden, körperregionsbezogenen Bewertungsmethode ermöglicht eine detailliertere Bewertung potenzieller biomechanischer Überlastungen. Die differenzierte Betrachtung der Belastung einzelner Körperregionen ermöglicht gezieltere Präventionsmaßnahmen und eine präzisere Risikobewertung, was wiederum zu einer besseren ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen führt.

Schlüsselwörter: EAWS (Ergonomic Assessment Worksheet), Ergonomie, Bewertungsmethode, manuelle Prozesse, biomechanische Risiken, Arbeitsplatzgestaltung

1. Einleitung

In modernen Produktionssystemen wird manuelle Arbeit auf wertschöpfende Aufgaben (die schwieriger zu automatisieren sind) beschränkt sein, die ergonomischen Anforderungen werden strenger (Alterung der Arbeitnehmer) und die Kontrollsysteme wichtiger (Datenverfügbarkeit), um die Sicherheit und das Wohlbefinden der Arbeitnehmer zu gewährleisten.

Aus diesen Gründen ist es für Industrieunternehmen strategisch wichtig, Systeme und Fähigkeiten zu entwickeln, um die Arbeitsbelastung und die Arbeitskosten bereits in den frühesten Phasen der Produktentwicklung zu simulieren und im Voraus zu berechnen und so Kosten (nicht wertschöpfende Tätigkeiten und arbeitsbedingte Muskel-Skelett-Erkrankungen) in der Produktionsphase zu vermeiden.

Die EAWS®-Methode[7] wird häufig zur Bewertung ergonomischer Risiken am Arbeitsplatz eingesetzt und ermöglicht eine ganzheitliche Beurteilung der körperlichen Belastung durch unterschiedliche Arbeitsbedingungen. Ihre Weiterentwicklung von einer sektionsbasierten zu einer körperregionsbasierten Methode – die im Rahmen des EAWS 2.0-Projekts durchgeführt wird – ermöglicht eine gezieltere und detailliertere Bewertung. Diese Anpassung wird sich auf einzelne Körperregionen konzentrieren, um die Belastung genauer zu erfassen und differenzierte Präventionsmaßnahmen zu ermöglichen.

Die neu entwickelte Methode bewertet Körperregionen, um die physische Belastung der verschiedenen Körperregionen detailliert zu analysieren. Dies erfordert eine systematische Analyse der Arbeitsplatzbedingungen, der Arbeitsbewegungen und der daraus resultierenden Belastung der Muskeln und des Skelettsystems.

[7] EAWS® ist eine eingetragene Marke (EUIPO) der MTM ASSOCIATION e.V.

2. Aktuelle Situation und Einschränkungen

EAWS 1.3.6 ist derzeit eines der am häufigsten verwendeten ergonomischen Bewertungssysteme für industrielle manuelle Arbeit. Es bietet eine umfassende Bewertung der Belastung des gesamten Körpers und der oberen Extremitäten anhand einer standardisierten Bewertungsstruktur. Diese Struktur wurde während der Entwicklung von EAWS in den 2000er Jahren festgelegt. In der Praxis wird EAWS 1.3.6 hauptsächlich bei der Bewertung bestehender Arbeitsplätze oder in späteren Entwurfsphasen eingesetzt, um ergonomische Risiken zu identifizieren und zu priorisieren. Obwohl es für Screening-Zwecke robust anwendbar ist, sind seine Struktur und Logik noch nicht vollständig für den Einsatz in der frühzeitigen Planung oder für die digitale Integration ausgelegt (Lavatelli, et al. 2012).

Auf internationaler Ebene existieren neben EAWS mehrere Ergonomienormen und detaillierte Bewertungsmethoden, darunter ISO 11228 (Teile 1–3) für manuelle Handhabung und repetitive Tätigkeiten, ISO 11226 für statische Körperhaltungen und EN 1005 (Teile 2–4) für Konstruktionsrichtlinien zu Kräften und Körperhaltungen. Darüber hinaus bieten Methoden wie NIOSH (Revised Lifting Equation), OCRA (Occupational Repetitive Actions) und LMM (Leitmerkmalmethode) weit verbreitete Ansätze für bestimmte Aufgabentypen oder Körperregionen. Diese Normen und Methoden bieten eine solide wissenschaftliche Grundlage, sind jedoch nach wie vor fragmentiert und behandeln jeweils nur Teile des gesamten ergonomischen Belastungsspektrums. Derzeit gibt es keinen einheitlichen Rahmen, der diese zu einem ganzheitlichen, planungsphasenorientierten und digitalfähigen Ansatz integriert.

Insgesamt weisen bestehende Methoden, einschließlich EAWS 1.3.6, mehrere wesentliche Einschränkungen auf:

- Es handelt sich in erster Linie um retrospektive Tools, die nicht für den proaktiven Einsatz in der frühen Produkt- und Prozessentwicklung konzipiert sind.
- Ihre Definition und Schwellenkriterien sind teilweise qualitativ, was zu uneinheitlichen Interpretationen führt und die Automatisierung einschränkt.
- Die Fragmentierung der Standards nach Aufgabentypen, Körperregionen und Expositionsfaktoren macht eine ganzheitliche Risikobewertung komplex und zeitaufwändig.
- Die meisten Tools erfordern eine manuelle Datenerfassung und -berechnung, was die Skalierbarkeit einschränkt und iterative Designprozesse verlangsamt.
- Die Integration mit digitalen Planungs- und MTM-Systemen ist schwach oder fehlt ganz, was eine umfassende Sicht auf Produktivität und ergonomische Risikoabwägungen verhindert.

Das Projekt EAWS 2.0 hat das Ziel, diese Lücken zu schließen und eine harmonisierte, digitalisierbare und für die Planungsphase geeignete Methode zu schaffen, die die wissenschaftliche Genauigkeit bestehender Standards mit der praktischen Anwendbarkeit verbindet, die von den Ergonomen, Planern, Ingenieuren und MTM-Experten gefordert wird.

3. Umfang und Zielsetzung von EAWS 2.0

Der Kern der Methode befasst sich mit der Bewertung biomechanischer Faktoren. Psychologische oder umweltbedingte Einflüsse sowie Einflüsse der Arbeitsumgebung werden in der Methode nicht berücksichtigt. EAWS befasst sich mit manuellen Tätigkeiten an industriellen Arbeitsplätzen. Der Referenzwert ist der Arbeitsplatz oder der

Arbeitsinhalt (objektiv) und nicht der Arbeitnehmer (subjektiv/individuell). Die Weiterentwicklung von EAWS 1.3.6 zu EAWS 2.0 konzentriert sich auf die softwaregestützte Analyse. Künftig soll die Methode dazu dienen, Risiken in der Fertigung mit Hilfe von Software und Assistenzsystemen (z. B. Motion Capture, Simulation, VR/AR) zu ermitteln.

3.1 Umfang

Folgende Anwendungsbereiche für EAWS 2.0 kommen in Frage:

- industrielle Arbeitsplätze
- typische Produktionsarbeitsplätze mit manuellen Arbeitsprozessen (z. B. Montagearbeitsplätze)
- die Klassifizierung von Arbeitsplätzen anhand der Art der Bewegungen, der verwendeten Werkzeuge, der Arbeitsumgebung und der Pausenregelung
- die Identifizierung spezifischer körperlicher Anforderungen, die für Arbeitsplätze im industriellen Kontext typisch sind (z. B. Schraubarbeiten, Materialbereitstellung) und
- die Bewertung manueller Arbeitsinhalte

Die digitale Risikobewertung steht im Mittelpunkt der Überarbeitung der EAWS-Methode, um EAWS zukunftsfähig zu machen.

3.2 Zielstellung

Die Hauptziele des EAWS 2.0-Projektes sind:
(1) Umwandlung der EAWS-Struktur von Sektionen in Körperregionen
(2) Präzisierung von Definitionen und Anwendungsregeln
(3) Aktualisierung der EAWS-Struktur und -Methode
(4) Integration relevanter Einflussfaktoren

Die Umwandlung der sektionsbezogenen Struktur (z. B. Sektion 1 Körperhaltungen, Sektion 2 Aktionskräfte, …) in eine Struktur der Körperregionen erlaubt die Identifizierung ergonomischer Risiken am Entstehungsort (z. B. unterer Rücken, Schulter,…) und ermöglicht dadurch gezieltere Verbesserungsmaßnahmen bereits in der frühen Planungsphase.

Um den Digitalisierungsprozess zu erleichtern und zu ermöglichen, sind konsistente und präzise Begriffe und Anwendungsregeln eine Grundvoraussetzung.

Es ist erforderlich die EAWS-Struktur an aktuelle Standards (z. B. Normen) anzupassen und dabei die letzten Veröffentlichungen sowie industrielle Anforderungen zu berücksichtigen und somit die digitale Anwendung von EAWS zu verbessern.

Um EAWS als globale Standardmethode zur Ergonomiebewertung - für alle Arten von zyklischen manuellen Tätigkeiten im industriellen Kontext - zu machen, müssen auch weitere relevante Einflussfaktoren integriert werden (z. B. Gelenkwinkel, Bewegungsbahn der Last…) (Jäger, et al. 2001, Jäger 2018, Jäger 2023).

4. Entwicklung des Bewertungsmodells

Evidenzbasierte Daten bilden die Grundlage für die Entwicklung des neuen Bewertungsverfahrens. In EAWS 2.0 wurde ein Bewertungssystem (niedrig, mittel, hoch) übernommen, welches derselben Logik folgt wie das derzeitige EAWS 1.3.6.

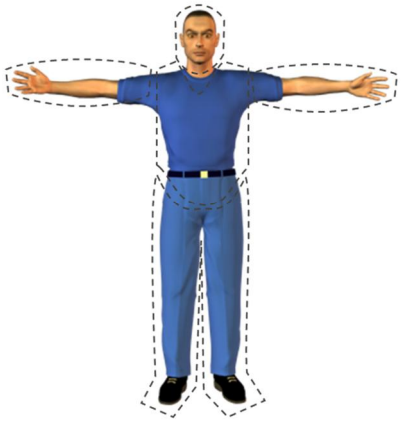
Bewertung: Für jede Körperregion wurde ein Bewertungssystem entwickelt, das die entsprechende Bewertungskategorie (Krafteinwirkung, Winkel, Dauer, Häufigkeit usw.) berücksichtigt, die das Risiko einer Überlastung widerspiegelt, das am ehesten mit dieser bestimmten Körperregion verbunden ist (David 2005, Denis, et al. 2000, Esa-Pekka, et al. 2010, Jäger, et al. 2000, Rempel & Potvin 2022).

Kombinierte Gesamtbewertung: Kombiniert die einzelnen Segmentbewertungen für eine Gesamtbewertung des Arbeitsplatzes. Es wurde ein Gewichtungsfaktor eingeführt, um besonders kritische Belastungen hervorzuheben (Chaffin 1969).

4.1 Risikoanalyse für Körperregionen

Unter Bezugnahme der ISO 11226:2000 Ergonomie – Bewertung statischer Arbeitshaltungen (International Organization for Stadardization 2000) wurden die folgenden Körperregionen berücksichtigt (siehe Abbildung 1):

(1) Rumpfhaltungen (Oberkörper)
(2) Kopfhaltungen (Nacken)
(3) Obere Extremitäten
(4) Untere Extremitäten



Körperregion	Körpersegment
Kopf/Nacken	Halswirbelsäule
Obere Extremität	Schulter/Oberarm
	Ellenbogen/Unterarm
	Handgelenk/Hand
Oberkörper	Brustwirbelsäule
	Lendenwirbelsäule
Untere Extremität	Hüfte/Oberschenkel
	Knie/Wade
	Knöchel/Fuß

***Abbildung 1**: Einteilung in Körperregion und -segmente.*

Die Idee besteht darin, das Risiko für jede Körperregion zu bewerten und dann den Risikoindex zu summieren, anstatt die tatsächlichen Abschnitte für „Arbeitsaufgaben“ zu berücksichtigen. Für jede Körperregion wurden spezifische Bewertungskriterien definiert, die auf ihre Bewegungen, Belastungen und Risikofaktoren als Einflussgrößen für die Risikobewertung zugeschnitten sind. Diese Bewertungskriterien orientieren sich an der Biomechanik der jeweiligen Region.

Bewertungskriterien können folgende sein:

- Kraftaufwand (mechanische Belastungen von Gelenken und Muskeln)
- Winkel und Reichweite (Gelenkbewegungswinkel)
- Belastungsdauer (Zeit, in der eine Region belastet wird)
- Bewegungsfrequenz (wie oft wird die Bewegung ausgeführt)
- Risikofaktoren für Überlastungen (ungünstige Gelenkstellungen)
- Vibrations-/Rückstoßkräfte (Hammerschlag, Presse)

Abbildung 2 zeigt die Einflussfaktoren der Körperregionen.

Körperregion	Körpersegment	Einflussgrößen
Kopf/Nacken	Halswirbelsäule	Haltung, Dauer (s), Frequenz (#)
Obere Extremität	Schulter/Oberarm	Haltung, Kraft, Dauer (s), Frequenz (#), Vibration, Gesamtdauer (Schichtdauer, Pausen, Arbeitsorganisation)
	Ellenbogen/Unterarm	
	Handgelenk/Hand	
Oberkörper	Brustwirbelsäule	Haltung, Kraft, Last, Dauer (s), Frequenz (#)
	Lendenwirbelsäule	
Untere Extremität	Hüfte/Oberschenkel	Haltung, Dauer (s), Frequenz (#), Vibration
	Knie/Wade	
	Knöchel/Fuß	

***Abbildung 2**: Einflussgrößen für die einzelnen Körperregionen.*

5. Ausblick

Nach Abschluss des EAWS 2.0 Projektes werden Feldtests durchgeführt, um die Benutzerfreundlichkeit, Zuverlässigkeit und praktische Anwendbarkeit der Methode in realen oder semi-realen industriellen Bewertungsszenarien zu validieren. In Zusammenarbeit mit der EAWS User Group Deutschland, wird die praxistaugliche Anwendung und die Anbindungsmöglichkeit an andere digitale Modelle geprüft und über Feedbackschleifen wird die Methode angepasst und finalisiert werden. Eine Integration der Methode in die TiCon Produktlandschaft ist ebenfalls geplant. Einen Termin für die Veröffentlichung der finalen Methode (inkl. Softwarelösung und Ausbildungsunterlagen) steht aktuell noch nicht fest.

6. Literatur

Chaffin D. B. (1969) A computerized biomechanical model-Development of and use in studying gross body actions. Journal of Biomechanics, 2(4), 429-441.

David G. C. (2005) Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. In Occupational Medicine (Vol. 55, Issue 3, pp. 190–199).

Denis D., Lortier M., Rossignol M., Denis D., Lortie M. & Rossignol M. (2000). Observation Procedures Characterizing Occupational Physical Activities: Critical Review. In INTERNATIONAL JOURNAL OF OCCUPATIONAL SAFETY AND ERGONOMICS (Vol. 6, Issue 4)

Esa-Pekka Takala by, Pehkonen I., Forsman M., Hansson G.-Å., Erik Mathiassen S., Patrick Neumann W., Sjøgaard G., Bo Veiersted K., Westgaard R. H.& Winkel J. (2010). Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work. In Work Environ Health (Vol. 36, Issue 1).

International Organization for Standardization. (2000). ISO 11226:2000. https://www.iso.org/standard/25573.html

Jäger M. (2018). Extended compilation of autopsy-material measurements on lumbar ultimate compressive strength for deriving reference values in ergonomic work design: The revised dortmund recommendations. EXCLI Journal, 17, 362–385.

Jäger M. (2023). The Dortmund Lumbar Load Atlas.

Jäger M., Jordan C., Luttmann A. & Laurig W. (2000). Evaluation and assessment of lumbar load during total shifts for occupational manual materials handling jobs within the Dortmund Lumbar Load Study – DOLLY. International Journal of Industrial Ergonomics, 25(6), 553–571.

Jäger M., Luttmann A., Göllner R. & Laurig W. (2001). The Dortmunder - Biomechanical Model for Quantification and Assessment of the Load on the Lumbar Spine.

Lavatelli I., Schaub K. & Caragnano G. (2012). Correlations in between EAWS and OCRA Index concerning the repetitive loads of the upper limbs in automobile manufacturing industries. WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation, 41(S1), 4436–4444.

Rempel D. & Potvin J. (2022). A design tool to estimate maximum acceptable manual arm forces for above-shoulder work. Ergonomics, 65(10), 1338–1351.

Standardisierte Haltungscodierung zur Bewertung ergonomischer Einflussfaktoren – Methodische Entwicklung im Projekt CoSiMMI

Rebecca RACK[1], Susanne SUTSCHET[2], Sven MATTHIESEN[2], Klaus BENGLER[1]

[1] Technical University of Munich, Germany, TUM School of Engineering and Design
Department of Mechanical Engineering, Chair of Ergonomics
Boltzmanstraße 15, D-85748 Garching b. München
[2] Institute of Product Engineering, Karlsruhe Institute of Technology
Kaiserstraße 10, D-76131 Karlsruhe

Kurzfassung: Die Arbeit stellt eine Methode zur standardisierten Haltungscodierung vor, bei der Gelenkwinkel auf Basis des normativen Bewegungsbereichs normalisiert und zu einem Haltungsindex aggregiert werden. Dieser Ansatz ermöglicht eine vergleichbare Bewertung komplexer Haltungen und wurde an Daten aus einer Probandenstudie getestet. Die Ergebnisse zeigen signifikante Effekte der Faktoren „Bohrposition“ und „Griffkonfiguration“ sowie deren Interaktion. Überkopfarbeiten führen zu deutlich höheren Abweichungen vom ergonomisch neutralen Bereich, wobei die Griffkonfiguration die Haltung zusätzlich beeinflusst. Die Methode bietet Potenzial für simulationsbasierte Ergonomieanalysen.

Schlüsselwörter: Haltungscodierung, Range of Motion, Menschmodellierung, Ergonomiebewertung, Bohranwendungen

1. Einleitung

Die Analyse von Körperhaltungen ist eine zentrale Voraussetzung für die ergonomische Bewertung und die Entwicklung menschgerechter Arbeitsmittel. Die Haltung wird durch die Bewegungsfreiheit der Gelenke und den Anforderungen der Aufgabe bestimmt. Der Vergleich äußerer Einflussgrößen bei der Anwendung von Power Tools, wie der Arbeitsposition, Griffkonfiguration (beeinflusst durch Orientierung und Position beider Griffe zueinander) oder Andruckkraft ist jedoch schwierig, da die Gesamthaltung aus vielen Gelenkwinkeln besteht, die unterschiedliche Bewegungsumfänge aufweisen.

Einzelne Gelenkwinkel sind daher nur begrenzt aussagekräftig. Hohe Gelenkwinkel bedeuten nicht zwangsläufig eine ungünstige Haltung, da manche Gelenke einen großen Bewegungsbereich haben. Für eine präzise Analyse ist eine Vergleichsgröße erforderlich, die die Gesamthaltung abbildet und Unterschiede zwischen den Bedingungen quantifiziert. Etablierte Verfahren wie RULA (McAtamney & Corlett 1993) oder REBA (Hignett & McAtamney 2000) bieten hierfür nur eine grobe Auflösung und sind primär für Risikoeinschätzungen konzipiert. Für digitale Menschmodelle und simulationsbasierte Ergonomiebewertungen ist eine detaillierte und vergleichbare Beschreibung der Haltung notwendig (Chaffin 2001).

Vor diesem Hintergrund wurde im DFG-Projekt CoSiMMI ein Ansatz entwickelt, der Gelenkwinkel auf Basis des normativen Bewegungsbereichs (Range of Motion, ROM) standardisiert und damit eine dimensionslose Vergleichsgröße schafft. Die Abweichung zur ergonomisch neutralen Stellung dient als Indikator, ob sich die Haltung im ergonomischen Bereich befindet. Ziel des Beitrags ist die methodische

Herleitung dieser Haltungscodierung sowie deren Anwendung in einer ersten Untersuchung.

2. Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Die Methode wurde an Daten aus einer Probandenstudie getestet, die den Einfluss von Bohrposition, Griffkonfiguration und Andruckkraft auf die Beanspruchung beim Bohren untersuchte. Die Versuche fanden im Human-Maschine-Symbiose-Labor (HMS-Lab) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) statt. Die Probanden führten eine Bohr-Ersatztätigkeit durch, bei der eine vorgegebene Andruckkraft statisch über zwei Griffe aufgebracht wurde. Der rotatorische Freiheitsgrad um die Bohrachse war freigegeben, um eine freie Haltungseinnahme zu ermöglichen. Jede Konfiguration wurde dreimal wiederholt.

Insgesamt nahmen 15 Probanden (7 weiblich, 8 männlich) teil, von denen 13 vollständige Datensätze vorlagen. Die Ganzkörperhaltung wurde mit dem IMU-basierten Motion-Capture-System XSens MVN Awinda (XSens Technologies, Niederlande; Samplingrate: 60 Hz) erfasst. Die Probanden hielten die definierte Andruckkraft 15 Sekunden lang.

In der vorliegenden Analyse wurden folgende Bedingungen untersucht:

- Bohrposition: BSH (below shoulder horizontal), OHV (overhead vertical)
- Griffkonfiguration: Default (beide Griffe gleich orientiert), SH90 (Seitengriff um 90° gedreht)

2.2 Datenverarbeitung

Die Rohdaten wurden mit MATLAB 2024b verarbeitet. Gelenkwinkel der oberen Extremität und des Rumpfes wurden gefiltert, auf stabile 6-Sekunden-Zeitfenster zugeschnitten und der Mittelwert über die Zeit gebildet. Anschließend erfolgte die Normalisierung auf Basis der ergonomisch neutralen Stellung (Neutral-Null-Methode; Zingel 2018) und des normativen ROM. Die normalisierten Werte werden zur visuellen Darstellung in Heatmaps, je Gelenk und je Bewegungsrichtung, geplottet.

Zur statistischen Auswertung wurde ein aggregierter Index gebildet, der die Summe der absoluten normalisierten Gelenkwinkel darstellt. In RStudio (Version 2025.09.2, Posit Software) wurden die drei Wiederholungen auf Normalverteilung geprüft. Aufgrund geringer Abweichungen zwischen den Wiederholungen wurde der Index je Bedingung gemittelt. Anschließend erfolgte eine Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA, 2 x 2 Within-Subject-Design) zur Untersuchung der Effekte von Bohrposition und Griffkonfiguration. Post-hoc Tests und Effektstärken ergänzten die Analyse.

2.3 Datenverarbeitung und Haltungscodierung

Die Gelenkwinkel wurden auf Basis der ergonomisch neutralen Stellung (aufrechter Stand, Arme angelegt, Handflächen nach innen) und der Vorgaben aus IS0 11226, sowie weiteren Quellen interpretiert und anschließend normalisiert. Eine Übersicht der verwendeten Neutralstellungen und Grenzwinkel ist in Tabelle 1 dargestellt.

Für jedes Gelenk wurde der individuelle Winkelwert in Relation zum normativen Bewegungsbereich gesetzt. Die Normalisierung erfolgte nach folgender Formel:

$$Normalisierter\ Wert = \frac{aktueller\ Winkel - ergonomische\ Neutralstellung}{Grenzwert\ des\ ROM}$$

Tabelle 1: *Übersicht ROM und ergonomische Neutralstellung.*

	Abduktion – Adduktion [°]			Flexion – Extension [°]			Rotation [°]		
	Add	**Neutral**	**Abd**	**Ext**	**Neutral**	**Flex**	**Innen**	**Neutral**	**Außen**
Schulter	50[f]	10[b]	180[f]	50[f]	10[b]	180[f]	90[f]	0[c]	90[f]
Ellbogen	-	-	-	0[f]	80[d]	140[f]	80[f]	0[e]	80[f]
Handgelenk	20[f]	0[e]	30[f]	60[f]	0[e]	60[f]	-	-	-
Oberkörper	33[g]	0[a]	33[g]	25[g]	5[a]	100[g]	40[g]	0	40[g]

a: nach ISO 11226; b: nach ISO 1005-4; c: : BGIA-Report 2/2007; d: McAtamney&Cortlett; e: Drury et al.; f: Luttgens & Hamilton, 1997; g: Patel et al. (2022)

Die obere Grenze des ROM wird als +1, die untere Grenze als -1 und die ergonomisch neutrale Stellung als 0 codiert. Werte außerhalb des ROMs werden nicht extrapoliert, sondern auf ±1 begrenzt. Dieses Verfahren überführt jeden Gelenkwinkel in eine dimensionslose Skala von -1 bis +1 und ermöglicht den Vergleich verschiedener Gelenke unabhängig von deren absoluten Bewegungsumfang.

Zur Bewertung der Gesamthaltung wurde ein Aggregationsindex berechnet:

$$Haltungsindex = \frac{\sum_{i=1}^{n} |normaliseiert\ Gelenkwinkelwert_i|}{Anzahl\ Gelenkwinkel}$$

Der Index spiegelt die Gesamtabweichung von einer ergonomischen Neutralstellung wider: Je höher der Wert, desto weiter entfernt ist die Haltung vom ergonomischen Ausgangsbereich.

Die normalisierten Gelenkwinkel wurden in Heatmaps dargestellt. Jede Zelle repräsentiert ein Gelenk in einer Bewegungsrichtung. Die Farbskala reicht von grün (nahe Neutralstellung) über orange (mittlere Abweichung) bis hin zu rot (starke Abweichung).

3. Ergebnisse

Die Daten zeigten eine Normalverteilung und zwischen den Wiederholungen traten keine signifikanten Unterschiede auf.

Die Varianzanalyse (ANOVA: Backhaus 2021) ergab signifikante Effekte für die Bohrposition $(F_{1,12} = 45.15, p < 0.001)$, Griffkonfiguration $(F_{1,12} = 22.02, p < 0.001)$ sowie deren Interaktion $(F_{1,12} = 23.42, p < 0.001)$. Damit beeinflussen sowohl die Arbeitshöhe als auch die Griffkonfiguration die aggregierte Haltung. Die Wirkung der Griffkonfiguration hängt dabei von der Bohrposition ab.

Die Post-hoc Analysen verdeutlichen die Interaktion: Der Haltungsindex ist für die Bohrposition OHV in beiden Griffkonfigurationen deutlich höher als in der BSH-Position (Default: $p < 0.001$; SH90: $p < 0.002$). Innerhalb der Positionen unterscheiden sich die Griffkonfigurationen nur in OHV signifikant (Default > SH90,

$p < 0.001$), nicht in BSH ($p = 0.202$). Damit zeigt sich, dass die Griffkonfiguration vor allem in der Überkopf-Position eine ergonomische Wirkung entfaltet.

Tabelle 2: *Ergebnisse ANOVA (Effekte für Position, Konfiguration und Interaktion).*

	DFn	Dfd	F	p	p<.05
Position	1	12	45.079	0.0000215	*
Konfiguration	1	12	22.019	0.000521	*
Postion:Konfiguration	1	12	23.416	0.000406	*

Tabelle 3: *Post-hoc-Analyse für Position innerhalb jeder Konfiguration*

	n	t	df	p_{adj}	p<.05
Default: BSH vs OHV	13	-9.08	12	0.00000101	****
SH90: BSH vs OHV	13	- 4.08	12	0.002	**

Tabelle 4: *Post-hoc-Analyse für Konfiguration innerhalb jeder Position.*

	n	t	df	p_{adj}	p<.05
BSH: default vs SH90	13	1.35	12	0.202	-
SH90: BSH vs OHV	13	6.95	12	0.0000154	****

Die Heatmaps (Abb. 1) zeigen die ROM-normalisierten Gelenkwinkel (-1 bis +1) für Schulter, Ellbogen, Handgelenk und Rumpf in den Bewegungsrichtungen Abduktion/Adduktion, Flexion/Extension und Rotation. Auffällig ist, dass die OHV-Position größere Abweichungen vom ergonomisch neutralen Bereich aufweist, insbesondere bei der linken Schulter (verstärkte Rotation und Flexion) und dem linken Handgelenk (starke Extension und Abduktion). Die Default-Konfiguration führt in OHV zu einer stärkeren Abweichung als die SH90-Konfiguration, was die statistischen Ergebnisse bestätigt. In der BSH-Position sind die Abweichungen insgesamt geringer.

Abbildung 1*: Interaktionslinien pro Proband zwischen den Bohrpositionen (BSH und OHV) je Griffkonfiguration: Default und SH90 (links) und Boxplots der Position und Konfigurationen (rechts).*

Die Boxplots (Abb. 3) verdeutlichen die Verteilung des Haltungsindex. In beiden Griffkonfigurationen steigt der Index von BSH zu OHV deutlich an, wobei die Default-Konfiguration insgesamt höhere Werte erreicht. Der Interaktionsplot (Abb. 2) zeigt diesen Trend klar. Während die Haltungsunterschiede zwischen den Positionen in beiden Griffkonfigurationen bestehen, sind nur in der Überkopf-Bohrposition

Haltungsunterschiede durch die Griffkonfiguration relevant. Dies unterstreicht die ergonomische Bedeutung der Griffgestaltung in Überkopf-Arbeitspositionen.

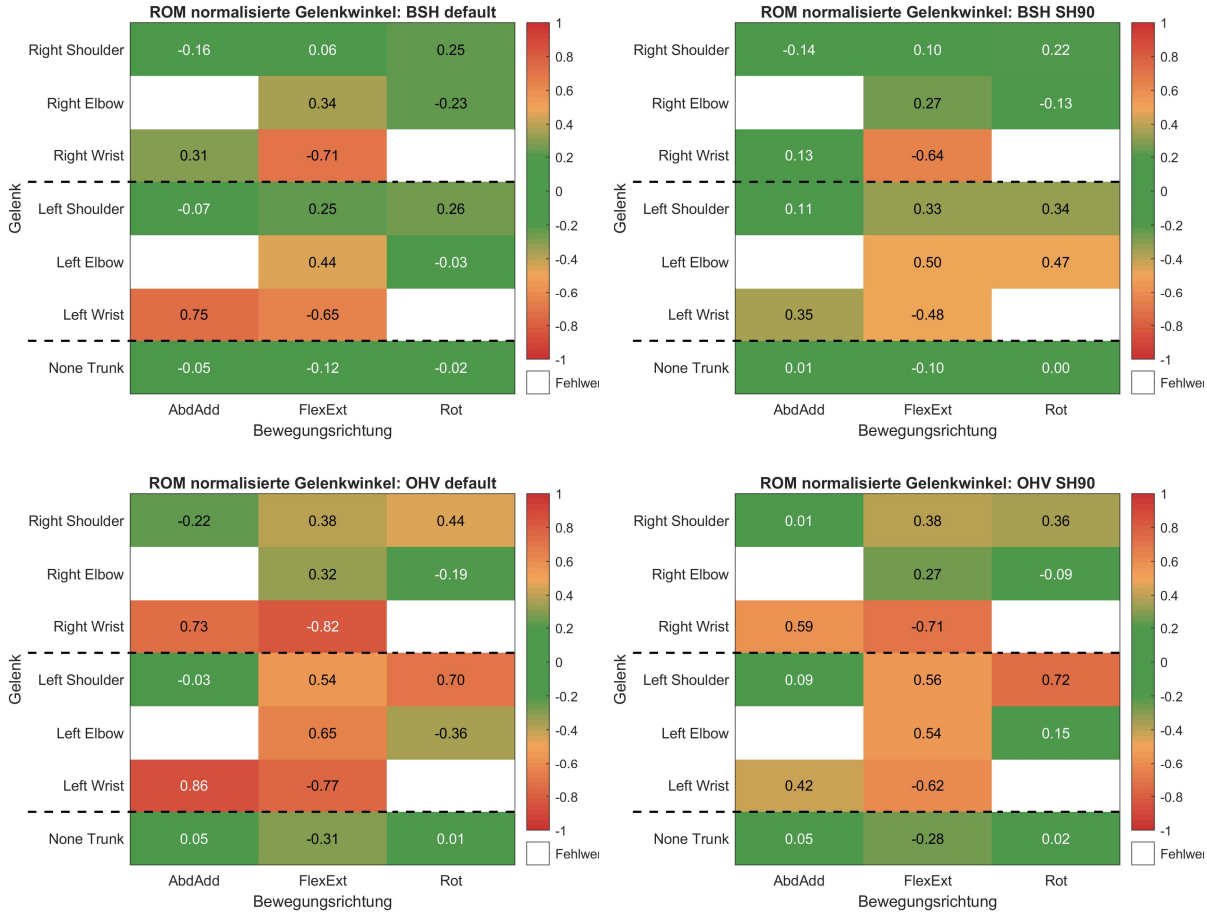


***Abbildung 2**: Heatmaps der ROM normalisierten Gelenkwinkel für die Bohrpositionen BSH (oben) und OHV (unten), sowie die Griffkonfigurationen default (links) und SH90 (rechts). Es ist je Gelenk und Bewegungsrichtung der Mittelwert über alle Probanden angegeben. Die Farbskala orientiert sich am Grad der Abweichung von der ergonomisch neutralen Stellung: grün (bis 0.3), orange (bis 0.6) und rot (ab 0.6).*

4. Diskussion

Die vorgestellte Methode zur ROM-normalisierten Haltungscodierung und Aggregation zu einem Haltungsindex ermöglicht eine kompakte und vergleichbare Bewertung komplexer Gelenkwinkelinformationen. Die Ergebnisse zeigen, dass der Haltungsindex Effekte der ergonomisch relevanten Einflussgrößen abbilden kann. Sowohl die Bohrposition als auch die Griffkonfiguration beeinflussen die Haltung signifikant, wobei die Wirkung der Griffkonfiguration positionsspezifisch ist. Dies bestätigt die Plausibilität des Ansatzes und unterstreicht dessen Potenzial für ergonomische Analysen.

Die Visualisierungen ergänzen die statistische Analyse und erleichtern die Interpretation komplexer Haltungsdaten. Heatmaps ermöglichen die schnelle Identifikation von Gelenken mit hoher Beanspruchung und zeigen Muster über verschiedene Bedingungen hinweg. Boxplots und der Interaktionsplot verdeutlichen die aggregierten Unterschiede zwischen den Bedingungen.

Neben der ANOVA wurden ergänzend lineare Mixed-Modelle geprüft, um die wiederholten Messungen je Proband zu berücksichtigen. Die Kernaussagen bleiben

konsistent, jedoch zeigten komplexere Zufallsstrukturen Hinweise auf Instabilität. Da der Fokus auf der methodischen Herleitung liegt, wurde die ANOVA zur Darstellung der Ergebnisse gewählt.

5. Fazit und Ausblick

Die vorgestellte Haltungscodierung bietet eine Grundlage für die Integration in digitale Menschmodelle und simulationsbasierte Ergonomieanalysen, in denen die Vergleichbarkeit von Körperhaltungen entscheidend ist. Die Studie wurde unter Laborbedingungen mit begrenzter Stichprobengröße durchgeführt, was die Generalisierbarkeit der Ergebnisse einschränkt. Weitere Untersuchungen sollten die Methode unter realen Arbeitsbedingungen validieren und zusätzliche Einflussgrößen wie die Andruckkraft oder das Werkzeuggewicht einbeziehen. Eine mögliche Erweiterung der Methode besteht in einer gewichteten Aggregation des Haltungsindex, bei der besonders belastungsanfällige Gelenke stärker berücksichtigt werden. Dies könnte sich an etablierten Verfahren wie der Punkteverteilung im RULA-Ansatz (McAtamney & Corlett 1993) orientieren. Darüber hinaus ist es sinnvoll, für zukünftige Analysen alternative statistische Verfahren wie lineare Mixed-Modelle oder multivariante Ansätze einzubeziehen, um komplexe Datenstrukturen und individuelle Unterschiede noch besser abzubilden.

6. Literatur

Backhaus, K., Erichson, B., Gensler, S., Weiber, R., Weiber, T. (2021). Varianzanalyse (ANOVA). In: Multivariate Analysemethoden. Springer Gabler, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-32425-4_3

Chaffin, Don & Nelson, Cynthia & Ianni, John & Punte, Patrick & Oudenhuijzen, Aernout & Hin, A & Bowman, Darrell & Thompson, Deborah & Peacock, Brian & Reed, Heather & Fox, Robert & Jimmerson, D. (2001). Digital Human Modeling for Vehicle and Workplace Design. SAE Int.

DIN EN 1005-4: Menschliche körperliche Leistung, Teil 4: Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen. Beuth, Berlin 2002

Drury, C.G.: A biomechanical evaluation of the repetitive motion injury potential of industrial jobs. Sem. Occup. Med. 2 /1987) Nr. 1, S. 41-49

ISO 11226: Ergonomie – Evaluierung von Körperhaltungen bei der Arbeit. Beuth, Berlin 2000

Hignett, S. and McAtamney, L. (2000) Rapid Entire Body Assessment (REBA). Applied Ergonomics, 31, 201-205.
https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3

McAtamney, L: Corlett, E.N.: RULA: a survey method for the investigations of work-related upper limb disorders. Appl. Ergon. 24 (1993) Nr. 2, S. 91-99

Patel, Purvi & Parmar, Lata. (2022). Normative values of trunk mobility in normal adults. International journal of health sciences. 6171-6179. 10.53730/ijhs.v6nS4.9696.

Zingel, Franziska. “Neutral-Null-Methode – Ein Klassiker.” *Ergopraxis*, vol. 11, no. 4, 2018, pp. 32–33, https://doi.org/10.1055/a-0530-4454.

Danksagung: Diese Forschung wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Projekts CoSiMMI (535064559) finanziert und durch die Finanzierung der Testumgebung im Rahmen des Antrags (GZ: INST 121384/323-1 FUGG) unterstützt.

Unterirdisch! Auch die Ergonomie? Mit dem Ergonomie Quick Check Potenziale an die Oberfläche befördern

Veronika KRETSCHMER[1], Semhar KINNE[1], Nick BIERMANN[2]

[1] Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2-4, D-44227 Dortmund
[2] Wayss & Freytag Ingenieurbau AG
Eschborner Landstraße 130-132, 60489 D-Frankfurt am Main

Kurzfassung: Zur Bewältigung des Fachkräftemangels und erhöhter krankheitsbedingter Ausfallzeiten im Tunnelbau wurde ein Ergonomie Quick Check auf einer Tunnelbohrmaschine unter realen untertägigen Bedingungen durchgeführt. Ziel ist die frühzeitige Identifikation sowie die Prävention physischer und psychischer Gefährdungen als Beitrag zum betrieblichen Arbeits- und Gesundheitsschutz. Durch die Kombination objektiver und subjektiver Methoden werden typische Arbeitsanforderungen systematisch bewertet. Auf dieser Basis werden priorisierte Interventionsmaßnahmen nach dem STOP-Prinzip im Arbeitsschutz abgeleitet und die Gefährdungsbeurteilung unterstützt.

Schlüsselwörter: Ergonomie, Tunnelbau, Gefährdungsbeurteilung, Fragebogen, Motion Capture, Leitmerkmalmethoden

1. Ergonomie als Schlüssel zur Fachkräftesicherung

Aktuelle Prognosen des Fachkräftemonitorings des BMAS bis 2029 zeigen: Das Arbeitskräfteangebot schrumpft, der Ersatzbedarf durch Ruhestände ist hoch und viele Berufe geraten in einen Engpass. Besonders deutlich zeigt sich diese Entwicklung im Tiefbau, wo hohe Ruhestandswellen und zusätzliche Nachfrage aus Infrastrukturvorhaben auf ein sinkendes Arbeitskräfteangebot treffen. Die Folge sind zunehmende Engpässe und längere Rekrutierungszeiten mit spürbaren Termin- und Qualitätsrisiken (Zika et al. 2025). Vor dem Hintergrund schrumpfender Arbeitskräfteangebote und hoher Ersatzbedarfe gewinnt der Arbeits- und Gesundheitsschutz im Baugewerbe besondere Bedeutung. Im Berichtsjahr 2024 entfielen auf das Baugewerbe 52,4 Mio. Arbeitsunfähigkeitstage, was Produktionsausfälle von 7,29 Mrd. € und einen Bruttowertschöpfungsverlust von 10,64 Mrd. € zur Folge hatte. Hauptursache waren Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) mit 13,7 Mio. Fehltagen und Kosten von 1,91 bzw. 2,79 Mrd. €, gefolgt von Atemwegserkrankungen, unfallbedingten Verletzungen sowie psychischen und Verhaltensstörungen (4,2 Mio. Fehltage; 0,59 bzw. 0,86 Mrd. €). (BAuA 2025b).

Umso wichtiger ist es, belastungsarme und ergonomische Arbeitsplätze zu schaffen, um Ausfallzeiten zu senken, Beschäftigungsfähigkeit zu sichern und die Attraktivität des Baugewerbes für Fachkräfte zu erhöhen. Ergonomisch gestaltete Arbeitsplätze senken nicht nur körperliche und psychische Gefährdungen, sie erhöhen außerdem die Attraktivität der Arbeit, was der Neugewinnung von Arbeitskräften zugutekommt. Erforderlich ist eine humanzentrierte, gesundheitsförderliche Gestaltung, die Instrumente des Arbeits- und Gesundheitsschutzes systematisch nutzt, um Tätigkeiten zu analysieren, Gefährdungen zu bewerten und geeignete Maßnahmen abzuleiten.

2. Motivation für eine Ergonomie-Analyse auf einer Tunnelbohrmaschine

Nach dem Ausstieg aus der Steinkohleförderung wurde 2018 das nördlichste Bergwerk Deutschlands in Ibbenbüren geschlossen. Um die Ewigkeitsaufgabe der Grubenwasserhaltung zu erfüllen, errichtet die ARGE TUNNEL IBBENBÜREN (Wayss & Freytag Ingenieurbau AG und Ed. Züblin AG) seit November 2021 im Auftrag der RAG Aktiengesellschaft einen 7,1 km langen Drainagetunnel mittels Tübbing Ausbau unter der Stadt Ibbenbüren. Davon entfallen 3244 m auf den Tunnel West und 3894 m auf den Tunnel Ost. Der Drainagetunnel ersetzt die bisherige Wasserführung durch bestehende Stollen und leitet zukünftig Grubenwasser aus den ehemaligen Abbaugebieten West- und Ostfeld ab. Die Ableitung erfolgt in zwei getrennten Wasserläufen aufgrund unterschiedlicher Mineralisierung, bevor das Wasser in einer neuen Aufbereitungsanlage behandelt wird. Die Auffahrung des Drainagetunnels erfolgte mit zwei Variable Density Tunnelbohrmaschinen (TBM) mit einer Länge von jeweils fast 220 m.

Die herausfordernden Arbeitsbedingungen auf der TBM – darunter der enge Arbeitsraum, weite Laufwege, hohe Lärmbelastung sowie Schichtarbeit ohne Tageslicht – und die erhöhten krankheitsbedingten Ausfallzeiten (01.05.2023–11.06.2024: Vortrieb West 5,67 % bzw. 7.388 h; 28.08.2023–24.02.2025: Vortrieb Ost 6,70 % bzw. 8.464 h) veranlassten Wayss & Freytag, das Fraunhofer IML zur Ermittlung des Ergonomiestatus und zur Ableitung geeigneter Interventionsmaßnahmen hinzuzuziehen.

3. Methodik des Ergonomie Quick Checks

Es wurde ein Ergonomie Quick Check (EQC) für operative Bereiche in Produktion, Logistik, Bau und Einzelhandel entwickelt (z. B. Kretschmer & Kinne 2023). Ziel ist, das Ergonomie-Niveau schnell und valide zu bestimmen, ein repräsentatives Belastungsprofil der Belegschaft zu gewinnen und Unternehmen bei der Gefährdungsbeurteilung nach §§ 5 und 6 ArbSchG zu unterstützen. So lassen sich Gesundheitsrisiken früh erkennen, Maßnahmen priorisieren und deren Wirksamkeit prüfen. Der EQC wurde auf einer Tunnelbohrmaschine in 100 m Tiefe unter Realbedingungen durchgeführt. Im Auftrag von Wayss & Freytag analysierte das Fraunhofer IML das ergonomische Belastungsniveau auf der TBM im Projekt Grubenwasserkanal Ibbenbüren für typische Tätigkeiten wie Montage, Steuerung und Fortbewegung.

Kern war ein multimodaler Ansatz: In einem Workshop mit Prozessverantwortlichen wurden belastungsrelevante Tätigkeiten identifiziert und geeignete Leitmerkmalmethoden (LMM, BAuA 2025a) ausgewählt – z. B. für Handhabung, Anziehen/Lösen von Tübbingschrauben, Laufwege und Schildfahren. Für die physische Ergonomie wurden Körperhaltungen und Bewegungen in Echtzeit mit dem Motion-Capture-System Xsens Awinda (Movella 2025) erfasst und in Industrial Athlete (Scalefit 2025) biomechanisch ausgewertet. Belastungen einzelner Körperregionen wurden berechnet und als Ampelrisiko für MSE gemäß ISO-, DIN- und NIOSH-Richtlinien dargestellt. Zur systematischen Erfassung der kognitiven Ergonomie wurden psychische Belastungen mit dem Fragebogeninstrument PegA (BGHW 2019) bewertet. Beanspruchungsfolgen, insbesondere die Häufigkeit muskuloskelettaler Beschwerden, wurden zusätzlich schriftlich erhoben (FB*MSB; Liebers et al. 2022). Die Ergebnisse wurden mithilfe eines Ampeldesigns visualisiert. Ergänzend wurden orientierende Messungen zu Schallpegeln, Klima und Beleuchtung vorgenommen.

4. Ergebnisse der Ergonomie-Analyse auf der Tunnelbohrmaschine

Im Folgenden werden die Ergebnisse zur physischen Ergonomie bei der manuellen Handhabung der Tübbingschrauben dargestellt, ergänzt um Befragungsergebnisse zur kognitiven Ergonomie, inbesondere werden Einblicke in psychische Belastungen auf der TBM sowie Muskel-Skelett-Beschwerden der Beschäftigten geben.

4.1 Physische Ergonomie bei der Handhabung von Tübbingschrauben

Tübbingschrauben dienen der Positionierung vorgefertigter Betonelemente (sog. Tübbinge), die die Innenschale des Tunnels bilden und das umliegende Erdreich stabilisieren. Mehrere radial angeordnete und ineinander verschachtelte Tübbinge ergeben einen Tunnelring. Die Schrauben wiegen jeweils etwa 15 kg und werden im Zuge der Montage eines Tübbings vom Lagerplatz getragen, manuell und ohne Werkzeug eingeschraubt (je nach Tübbing-Position in der Ringanordnung in Über-Schulter-/Über-Kopf-Haltung oder in stark gebückter Körperhaltung), nach Fertigstellung eines Tunnelrings wieder herausgedreht und anschließend zum Lagerplatz zurückgebracht. Zur Beurteilung der Arbeitsbelastung bei der beschriebenen Tätigkeit (Lastenhandhabung, Anziehen/Lösen der Schrauben) wurden sowohl die LMM (BAuA 2025a) als auch eine biomechanische Analyse mit der Software Industrial Athlete auf Basis einer Motion Capture Erhebung eingesetzt. Die LMM wurden in zwei Workshops mit den prozessverantwortlichen Ingenieur*innen auf die beschriebene und weitere Tätigkeiten auf der TBM angewendet. Die biomechanische Analyse basiert auf auf Motion Capture Daten, die an einem männlichen Mitarbeiter (1,85 m; 92 kg) erhoben wurden.

Das Ergebnis der LMM Manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten (LMM-HHT) zeigte eine wesentlich erhöhte Belastung, bei der körperliche Überbeanspruchung und Beschwerden möglich sind (Ergebnis: 51 Punkte für Männer). Die Beurteilung der Ganzkörperkräfte beim manuellen Eindrehen und gleichzeitigen Halten der Schrauben zeigte hingegen eine hohe Belastung, bei der körperliche Überbeanspruchungen sowie stärker ausgeprägte Beschwerden wahrscheinlich sind (Ergebnis: 144 Punkte für Männer).

Die biomechanische Analyse (s. Abbildung 1) bestätigt die Ergebnisse der LMM. Während der Arbeit mit den Tübbingschrauben zeigten sich mittlere bis hohe Belastungen der Schulter-Nacken-Region (Kopfneigung, Armelevation, dynamisches Schultermoment), des unteren Rückens (Rumpfneigung, Traglast, Bandscheibenkompression in der Lendenwirbelsäule) sowie der Unterarme und Hände (Handgelenksflexion/-extension, -radial-/ulnarduktion und Unterarmrotation).

4.2 Kognitive Ergonomie

Die Stichprobe im Rahmen der schriftlichen Befragung umfasste zwölf männliche Beschäftigte, je 50 % im Alter von 25 bis 44 Jahren bzw. ≥45 Jahren. Die schriftliche Befragung ergab, dass ein Drittel der befragten Beschäftigten sich durch die Schichtarbeit belastet fühlen.

PHYSISCHE BELASTUNG	gering (75%)	mittel (25%)	hoch (10%)	Risiko-Stufe (MSE)
	%	%	%	
Kopfneigung	33%	37%	30%	hoch
Armelevation links	36%	55%	9%	mittel
Armelevation rechts	28%	57%	15%	hoch
Schultermoment links (DYN)	68%	28%	4%	mittel
Schultermoment rechts (DYN)	71%	19%	10%	hoch
Rumpfneigung	25%	68%	6%	mittel
Traglast	63%	26%	10%	hoch
Bandscheibe (LWS)	40%	30%	30%	hoch
Handgelenk Fl./Ext. Links	66%	32%	2%	mittel
Handgelenk Fl./Ext. rechts	65%	31%	4%	mittel
Handgelenk Rad.-/Uln. Links	54%	29%	18%	hoch
Handgelenk Rad.-/Uln. rechts	52%	19%	29%	hoch
Unterarmrotation links	32%	8%	60%	hoch
Unterarmrotation rechts	33%	27%	41%	hoch
Kniebeugung links	52%	11%	37%	hoch
Kniebeugung rechts	42%	52%	6%	mittel

Abbildung 1: *Links: Ausschnitt einer Momentaufnahme der biomechanischen Echtzeit-Analyse beim Einschrauben der Tübbingschraube auf der TBM; Rechts: Auszug der Analyseergebnisse mit mittleren und hohen Risikostufen für MSE.*

Hinsichtlich der Bewertung der Arbeitsbedingungen zeigt sich, dass der Großteil der abgefragten Belastungsfaktoren *positiv* bewertet wird (9 von 16; s. Abbildung 2). Hierzu zählen Aspekte des Arbeitsinhalts bzw. der Arbeitsaufgabe (Variabilität [Abwechslungsreichtum], Information und Informationsangebot, Verantwortung, Qualifikation), der Arbeitsorganisation (Kommunikation und Kooperation), soziale Beziehungen (Kolleg*innen, Vorgesetzte) sowie der Arbeitsumgebung (Physische Faktoren, Arbeitsmittel).

Als *mittelmäßig bis mangelhaft* bewertet wurden die Arbeitsbedingungen Vollständigkeit, Handlungsspielraum und emotionale Inanspruchnahme (Arbeitsinhalt/Arbeitsaufgabe), Arbeitszeit und Arbeitsablauf (Arbeitsorganisation), physikalische und chemische Faktoren und die Arbeitsplatz- und Informationsgestaltung (Arbeitsumgebung).

Die absoluten Häufigkeiten muskuloskelettaler Beschwerden in den letzten 12 Monaten zeigen, dass in den Körperregionen „Hüftgelenke und/oder Oberschenkel“ (*N*=11), „Ellenbogen und/oder Unterarme“ (*N*=10), „Kniegelenke“ (*N*=10) sowie „Füße und/oder Fußgelenke“ (*N*=10) die Mehrheit der Beschäftigten keine oder nur seltene Beschwerden (1-7 Tage) berichtet. Demgegenüber zählen die Körperregionen „LWS und/oder unterer Rücken“ (*N*=6), „Hände und/oder Handgelenke“ (*N*=5), „Schultergelenke und/oder Oberarme“ (*N*=5) sowie „Nackenregion und/oder HWS“ (*N*=4) zu den Bereichen, in denen Beschäftigte am häufigsten Beschwerden (ja, (fast) jeden Tag; ja, an mehr als 30 Tagen, aber nicht jeden Tag; ja, an 8 bis 30 Tagen) angeben.

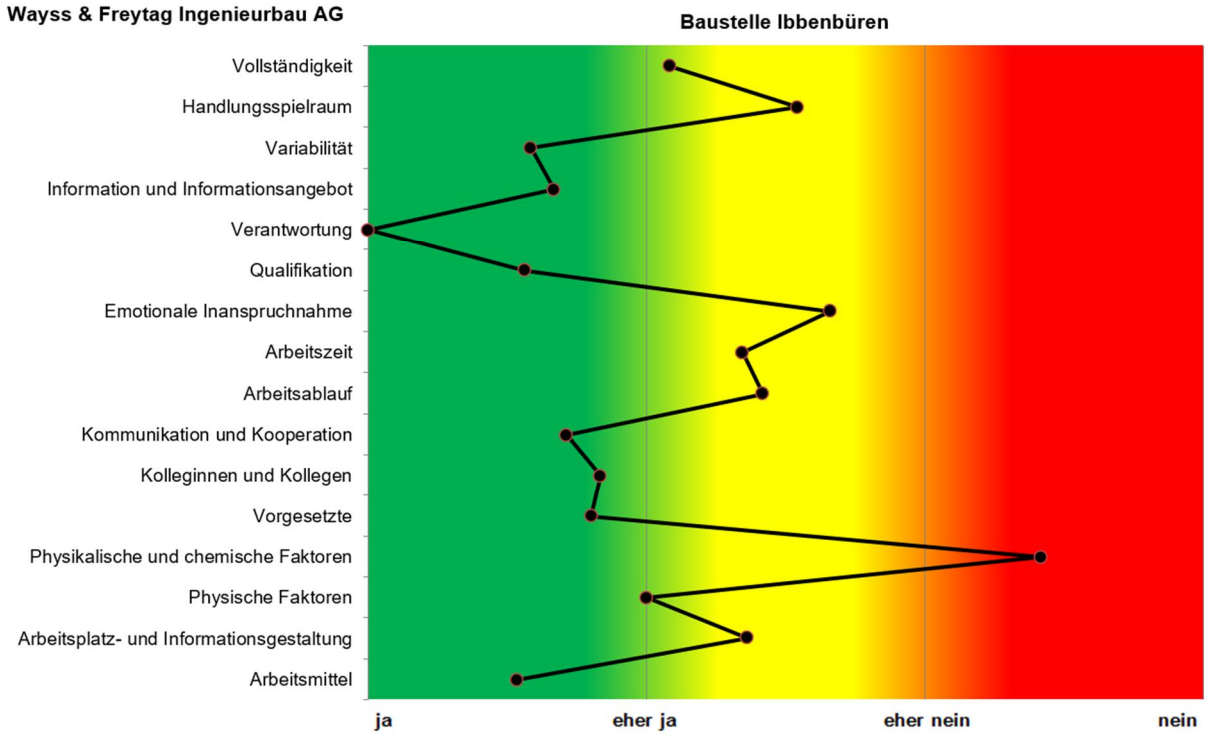


Abbildung 2: *Ergebnisvisualisierung der ermittelten psychischen Belastungsfaktoren (BGHW 2019). Das Liniendiagramm stellt die Mittelwerte der bewerteten Arbeitsbedingungen dar (Ampeldesign: grün = MW 3,00–4,00; gelb = MW 2,26–2,99; rot = MW 1,00–2,25).*

4.3 Maßnahmenableitung

Die Ergebnisse des EQC zeigen Handlungsbedarf zur Reduktion bzw. Vermeidung arbeitsbedingter Gefährdungen. Es wurden Interventionsmaßnahmen abgeleitet und nach dem STOP-Prinzip (Substitution, technische / organisatorische / personenbezogene Maßnahmen) priorisiert (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: *Ausgewählte Maßnahmen nach STOP-Prinzip (Substitution, technische / organisatorische / personenbezogene Maßnahmen) zur Optimierung der Arbeitsbedingungen auf der TBM.*

Kategorie	Maßnahme
S	Konstruktive Anpassungen zur Reduktion von Gewicht und Anzahl der Tübbingschrauben
T	Re-Engineering der Tübbingschrauben zur Erleichterung der Handhabung, Einsatz einer Hebehilfe; Nutzung der vorhandenen Klimaanlage; Optimierung des Tunnelbelüftungssystems; Dimmbarkeit und Lichtfarbe der Leuchtmittel
O	Regelmäßige Instandhaltung der Arbeitsmittel; Etablierung klarer Regeln für den Umgang mit Konflikten; Qualifizierung zur vollständigen Aufgabenbearbeitung ermöglichen; Überprüfung des betrieblichen Vorschlagswesens; regelmäßige, ungestörte Pausen; definierte Nebentätigkeiten bei ungeplanten Pausen; regelmäßiger MUDA-Walk zur Detektion und Reduktion von Verschwendungen
P	Prüfung des Einsatzes von Bandagen und Exoskeletten; Einsatz funktionaler Arbeitskleidung; Subventionierung regionaler Fitness- und Präventionsangebote; Schulungs- und Weiterbildungsangebote

5. Zusammenfassung und Ausblick

Der EQC erwies sich auch in untertägigen Einsatzbedingungen als zuverlässig und praxistauglich und fand trotz sprachlicher Heterogenität hohe Akzeptanz bei den Beschäftigten. Die Verknüpfung objektiver Messdaten mit subjektiven Einschätzungen lieferte ein schlüssiges Gesamtbild der physischen, kognitiven und umgebungsbedingten Belastungen sowie der Beanspruchung auf der TBM. Auf dieser Basis entstand eine belastbare Grundlage für evidenzbasierte Priorisierung, Maßnahmenableitung und Dokumentation sowie für zielgerichtete Prävention und kontinuierliche Verbesserung. Die Ergebnisse unterstützen die gesetzlich geforderte Gefährdungsbeurteilung physischer und psychischer Belastungen gemäß §§ 5 und 6 ArbSchG. Darauf aufbauend lassen sich durch Wayss & Freytag Risiken priorisieren, zielgerichtete Maßnahmen ableiten und im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung dokumentieren sowie in Folgemessungen auf Wirksamkeit prüfen.

6. Literatur

ArbSchG (1996) Retrieved from https://www.gesetze-im-internet.de/arbschg/ (Abgerufen am 22.12.2025).

Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW) (2019) PegA – Psychische Belastung erfassen: Gesunde Arbeit gestalten (Kompendium Arbeitsschutz). Herausgegeben von der Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik, Mannheim, in Kooperation mit der Technischen Universität Dresden und der Gesellschaft für Gesundheit und Arbeit (GfGA), München. https://kompendium.bghw.de/bghw/xhtml/document.jsf?alias=bghw_pebef (Abgerufen am 13.01.2026).

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (2025a) Gefährdungsbeurteilung mit den Leitmerkmalmethoden. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg). https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung/Gefaehrdungsbeurteilung/Leitmerkmalmethode/Leitmerkmalmethode_node.html (Abgerufen am 22.12.2025).

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (2025b) Volkswirtschaftliche Kosten durch Arbeitsunfähigkeit 2024. Dortmund, Stand: Dezember 2025. www.baua.de (Stichwort „Arbeitsunfähigkeit“) (Abgerufen am 09.01.2026).

Kretschmer V, Kinne S (2023) Entwicklung eines Ergonomie Quick Checks zur Analyse und Bewertung von Gefährdungen manueller Logistiktätigkeiten. GfA-Herbstkonferenz 2023, Düsseldorf, „Menschengerechte Arbeitsgestaltung – Basisarbeit und neue Arbeitsformen“, 26.10.2023, Dortmund: GfA-Press.

Liebers F, Freyer M, Freitag S, Dulon M, Hegewald J, Latza U (2022) Fragebogen zu Muskel-Skelett-Beschwerden (FB*MSB) (1. Aufl., Projektnummer F 2457). Dortmund / Hamburg: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) / Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW). https://doi.org/10.21934/baua:praxis20220720 (Abgerufen am 13.01.2026).

Movella Inc. (2025) MVN Awinda. https://www.movella.com/products/motion-capture/xsens-mvn-awinda (Abgerufen am 22.12.2025).

Scalefit UG (2025) Industrial Athlete. https://www.scalefit.de/industrial-athlete.html (Abgerufen am 22.12.2025).

Zika G, Kalinowski M, Krinitz J, Maier T, Mönnig A, Schneemann C, Schroer JP, Wolter MI, Zenk J (2025) Fachkräftemonitoring für das BMAS – Mittelfristprognose bis 2029. QuBe-Kooperationsprojekt (BIBB/IAB/GWS). Berlin: Bundesministerium für Arbeit und Soziales.

Ergonomic Exoskeleton Design Using Musculoskeletal Simulation: A Case Study on Industrial Static Forward-Leaning Tasks

Vishnu Kiran SURYA VAMSAM[1], David SCHERB[1], Robert WEIDNER[1,2]

[1] Chair for Automated and Autonomous Systems, TU Bergakademie Freiberg Bernhard-von-Cotta-Str. 4, D-09599 Freiberg
[2] Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, Laboratorium Fertigungstechnik, Holstenhofweg 84, D-22043 Hamburg

Abstract: Exoskeletons are emerging as innovative industrial solutions to enhance worker wellbeing and reduce work-related musculoskeletal disorders, but designing exoskeleton systems that provide effective assistance requires a detailed understanding of human biomechanical loading under realistic workplace conditions. This study uses musculoskeletal (MSK) simulation to analyze static forward-leaning tasks performed in an industrial workplace, to derive early-stage design parameters for an active textile-based exoskeleton. Motion capture data were used in MSK simulations to estimate muscle forces and spinal compression, while actuator concepts with different support mechanisms, force transmission paths and support levels were integrated into the model, to assess their biomechanical effects on the lower back. The results show that force transmission path strongly affects biomechanical outcomes, and that appropriately configured assistance can substantially reduce musculoskeletal loading. Overall, this study highlights the value of simulation-driven design for ergonomic, user-centered industrial exoskeletons.

Keywords: Industrial exoskeletons, musculoskeletal simulation, OpenSim, static forward-leaning tasks, simulation-driven design, biomechanics

1. Introduction

Musculoskeletal disorders (MSDs) represent one of the most prevalent occupational health challenges in Europe, with over 50% of workers reporting some form of MSD (European Agency for Safety and Health at Work et al. 2019), highlighting the need for effective ergonomic interventions in industrial environments. Exoskeletons have emerged as an ergonomic solution in this context. These systems vary widely in terms of assisted body regions, actuation principles, and force transmission paths, all of which critically influence their biomechanical effectiveness (Weidner et al. 2020). Among MSDs, lower back pain (LBP) is the most common condition, contributing substantially to work-related disability and absenteeism (European Agency for Safety and Health at Work et al. 2019) with occupational exposures accounting for approximately 37% of non-traumatic LBP cases (Punnett et al. 2005).

While a large portion of existing research has focused on dynamic manual handling and lifting tasks due to their high peak lumbar loads (Coenen et al. 2014; Norman et al. 1998), sustained static and semi-static forward-leaning postures have also been identified as significant risk factors for LBP (Wu et al., 2025; Norman et al. 1998) particularly in inspection, packing and assembly work. Back-support exoskeletons

(BSEs) aim to reduce spinal loading and muscle activity by providing external support between the torso and lower body (Toxiri et al. 2019; Schubert & Weidner 2025). However, their biomechanical effectiveness strongly depends on force transmission path/placement, mechanical properties, and alignment with movement patterns (Reimeir et al. 2023). In this context, MSK simulation acts as a powerful tool to systematically evaluate human–exoskeleton interaction (Molz et al. 2024), enabling early-stage, task-specific design optimization of exoskeletons prior to physical prototyping. Accordingly, this study aims to derive early-stage design parameters - related to support mechanism, force transmission path and support magnitude - for an active textile-based exoskeleton for static forward-leaning industrial tasks using MSK simulation.

2. Methodology

2.1 Motion Capture and Musculoskeletal Modeling

Human movement data were collected from two participants in an industrial setting using a 17-sensor inertial motion capture system (MVN Awinda, Xsens, Enschede, The Netherlands). Full-body kinematics were recorded during the execution of three representative static forward-leaning tasks (Figure 1):

- Task 1 – Inspection of parachute cords and fabric on a table. (P01 and P02)
- Task 2 – Grouping and packing suspension lines into designated grooves. (P02)
- Task 3 – Folding and compacting the parachute canopy for packing. (P02)

Task 1 – Parachute inspection | Task 2 – Suspension line packing | Task 3 – Canopy folding

***Figure 1**: Static forward-leaning industrial tasks analyzed in this study.*

The recorded kinematic data served as input to MSK simulations to estimate internabiomechanical loading. For this purpose, the simulations employed the Lifting Full Body (LFB) model by Beaucage-Gauvreau et al. 2019. The LFB model was selected for its detailed lumbar spine representation, with spine motion constrained to the L5-S1 joint. The upper spine was modeled as rigid; trunk flexion was therefore represented at the L5-S1 joint. The LFB model has also been previously validated for lifting and trunk flexion-dominated occupational tasks (Beaucage-Gauvreau et al. 2019). No external object loads were applied, as the handled items were lightweight and spinal loading was dominated by sustained forward-leaning posture.

2.2 Musculoskeletal Simulation

Participant-specific scaled MSK models (P01 and P02) were created from the captured motion and were used to perform inverse kinematics (IK) analysis in OpenSim (Seth et al. 2011). The IK process resulted in time histories of joint coordinates for all modeled degrees of freedom (DOFs). Following IK, static optimization (SO) was performed to estimate muscle activations and forces required to reproduce the observed kinematics. Reserve actuators were used to estimate ground reaction forces (GRFs) at the feet. The estimated GRFs were then applied in inverse dynamics (ID) analysis to compute joint moments. The muscle forces and GRFs obtained from SO were further used as inputs to the joint reaction analysis (JRA) tool in OpenSim to calculate intersegmental joint reaction forces, with a particular focus on compressive forces at the L5-S1 joint.

2.3 Exoskeleton Design Parameters and Assisted Simulation

This study aimed to support the development of an active textile-based exoskeleton, requiring soft, lightweight, and body-conforming actuators. To demonstrate the capability of MSK simulation for early-stage concept exploration, two assistive support concepts were modeled (Figure 2): (i) tensile force-based assistance using path-spring elements between pelvis and upper trunk attachments, and (ii) rotational stiffness-based assistance using rotational spring-damper elements between the same attachment regions to represent cantilever-like support.

Within the tensile support concept, two routing variants were evaluated:

- T01 - midline routing, using a single tensile element aligned along the spinal midline from the pelvis to C7 (≈48 cm).
- T02 - bilateral paraspinal routing, using two laterally offset tensile elements running parallel to the spine from the pelvis to approximately T8 (≈28 cm).

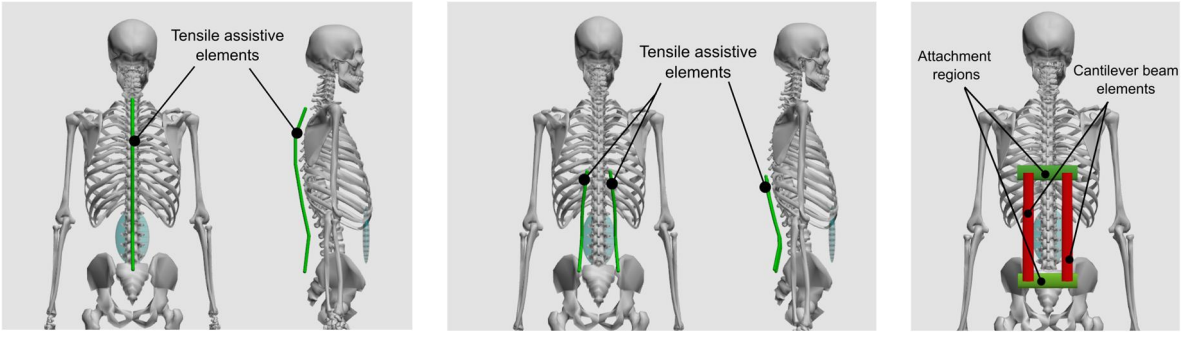


***Figure 2**: Assistive support concepts implemented in the musculoskeletal model: tensile force–based routing with midline (T01) and bilateral paraspinal (T02) configurations, and rotational stiffness–based support (R01) applied between pelvis and upper trunk attachment regions.*

Both configurations were positioned at a perpendicular distance of approximately 7-8 cm from the L5-S1 joint, ensuring close body fit while providing a usable moment arm. In the rotational stiffness concept (R01), rotational spring-damper elements were applied between the same attachment regions as T02 to resist trunk flexion via joint-level stiffness rather than tensile force transmission.

Baseline simulations showed peak L5-S1 flexion-extension moments of 105 Nm and 103 Nm for task 1 (participants 1 and 2), 85 Nm for task 2, and 104 Nm for task 3. The exoskeleton was designed to provide a minimum of 30% lumbar moment support, corresponding to approximately 25-33 Nm across tasks. For the tensile concept (T01 and T02), this resulted in target assistive tensile forces between 300 and 400 N, evaluated using three linear stiffness values (6,000, 9,000, and 12,000 N/m). For the rotational stiffness concept (R01), three rotational stiffness values (30, 40, and 50 Nm/rad) were evaluated. Variable stiffness control was not implemented; instead, discrete stiffness levels were selected to represent different support modes.

In total, four baseline simulations and 36 assisted simulations (three concepts × three stiffness levels × four captures) were conducted. The outputs included muscle activations, L5-S1 joint moments, and spinal reaction forces.

3. Results

Baseline simulations without exoskeleton assistance revealed substantial loading at the L5-S1 joint across all analyzed tasks, with peak L5-S1 flexion-extension moments ranging from approximately 85 to 105 Nm depending on task and participant. These baseline values served as reference levels for evaluating the effectiveness of exoskeleton-assisted configurations. Table 1 summarizes the average biomechanical effects across the analyzed tasks for the assistive configurations investigated (T01, T02 and R01) each at three support levels.

Table 1: *Average biomechanical effects of tensile (T01, T02) and rotational (R01) support configurations across analyzed tasks.*

Configuration	ES Activation change (%)	L5-S1 Compression Reduction (%)	Lumbar Moment Support (%of baseline)
T01 – 6,000 N/m	+30 (increase)	10	10-12
T01 – 9,000 N/m	+15 (increase)	15	15-18
T01 – 12,000 N/m	+5 (increase)	20	20-24
T02 – 6,000 N/m	-10 (decrease)	20	20-24
T02 – 9,000 N/m	-40 (decrease)	40	30-40
T02 – 12,000 N/m	-55 (decrease)	55	40-55
R01 – 30 Nm/rad	-25 (decrease)	30	10-20
R01 – 40 Nm/rad	-43 (decrease)	35	15-35
R01 – 50 Nm/rad	-53 (decrease)	43	20-30

Erector spinae muscle activation and spinal loading showed a strong dependence on the assistive support concepts and within the tensile concept, on force transmission path and stiffness. The T01 midline tensile configuration consistently resulted in increased erector spinae activation, indicating an unfavorable interaction between the force transmission path and trunk extensor muscle mechanics. However, this increase in muscle activation limits its ergonomic effectiveness. On the other hand, the T02 bilateral paraspinal tensile configuration, and the R01 rotational stiffness-based configuration, demonstrated consistent reductions in erector spinae activation and L5-S1 compressive forces across all tasks.

4. Discussion

Overall, increasing assistive element stiffness enhances lumbar moment support across the investigated assistive configurations. However, in the tensile-force based concept the force transmission path and placement play a decisive role in determining whether external assistance leads to beneficial or adverse muscular responses. The dual-paraspinal configuration (T02) demonstrated consistently reduced erector spinae activation and spinal loading across stiffness levels, whereas the centrally routed configuration (T01) increased muscle activation despite providing moderate joint-level support. The inferior performance of the T01 can be attributed primarily to its centralized placement along the spinal midline, where externally applied extension moments may interfere with natural muscle coordination, leading to increased erector spinae activation. In contrast, T02 aligns more closely with the anatomical line of action of the erector spinae muscles, allowing more effective load sharing without compensatory muscle recruitment. These findings indicate that routing and placement govern biomechanical effectiveness, while stiffness primarily modulates the magnitude of assistance.

The results further demonstrate that MSK simulation can be used to evaluate fundamentally different support concepts at an early design stage. The rotational stiffness-based concept (R01) also resulted in notable reductions in erector spinae activation and L5-S1 compressive forces, while providing lumbar moment support within the targeted range through resistance to trunk flexion rather than direct joint moment offloading. Considering muscle activation, joint reaction forces, and moment support jointly, both the T02 geometry with 9,000 N/m stiffness and the R01 configuration at 40 Nm/rad satisfied the defined design target of approximately 30% lumbar moment support (corresponding to ~35 Nm) while simultaneously reducing erector spinae activation and L5-S1 compressive forces by 30-40%. While T02 achieved this primarily through direct paraspinal tensile force transmission and joint moment offloading, R01 achieved comparable overall unloading through resistance to trunk flexion and reduction of muscular demand. These findings highlight that multiple support concepts can fulfill the same biomechanical design objective, emphasizing the value of MSK simulation for early-stage comparison of alternative assistance strategies and informed selection based on task-specific and user-centered design priorities.

5. Limitations and Future Work

The simulations were limited to linear stiffness profiles and were conducted using only three tasks, two participants and two support concept types. Future work will incorporate a larger participant cohort, a broader range of task scenarios, additional support concepts, and variable stiffness control strategies. Experimental validation using prototypes will also be required to confirm the predicted biomechanical benefits.

6. Conclusion

This study presents a simulation-based framework for deriving early-stage design parameters of an active textile-based lumbar exoskeleton. By integrating real workplace motion capture data with MSK simulation, the approach enables

quantitative evaluation of assistive support concepts and force transmission paths. The results demonstrate that the force transmission path is a dominant factor governing biomechanical effectiveness, with dual-paraspinal routing combined with moderate stiffness as the most effective solution for reducing lumbar muscle activation and spinal loading during static forward-leaning tasks. Overall, the study shows how simulation-driven exploration of assistive concepts can substantially reduce the need for extensive physical prototyping, allowing designers to narrow down feasible design spaces, identify adverse configurations early, and focus prototyping efforts on biomechanically validated concepts.

7. References

Beaucage-Gauvreau E, Robertson WSP, Brandon SCE, Fraser R, Freeman BJC, Graham RB, & Jones CF (2019). Validation of an OpenSim full-body model with detailed lumbar spine for estimating lower lumbar spine loads during symmetric and asymmetric lifting tasks. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 22(5), 451–464.

Coenen P, Gouttebarge V, van der Burght ASAM, van Dieën JH, Frings-Dresen MHM, van der Beek AJ, & Burdorf A (2014) The effect of lifting during work on low back pain: a health impact assessment based on a meta-analysis. Occupational and Environmental Medicine, 71, 871–877.

European Agency for Safety and Health at Work, IKEI, & Panteia. (2019). Work-related musculoskeletal disorders: prevalence, costs and demographics in the EU. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Molz C, Scherb D, Löffelmann C, Sänger J, Yao Z, Lindenmann A, Matthiesen S, Weidner R, Wartzack S, Miehling J. A Co-Simulation Model Integrating a Musculoskeletal Human Model with Exoskeleton and Power Tool Model. Applied Sciences. 2024; 14(6):2573.

Norman R, Wells R, Neumann P, Frank J, Shannon H, & Kerr M (1998). A comparison of peak vs cumulative physical work exposure risk factors for the reporting of low back pain in the automotive industry. Clinical Biomechanics, 13, 561–573.

Punnett L, Prüss-Ütün A, Nelson DI, Fingerhut MA, Leigh J, Tak S, & Phillips S (2005). Estimating the global burden of low back pain attributable to combined occupational exposures. American Journal of Industrial Medicine, 48, 459–469.

Reimeir B, Calisti M, Mittermeier R, Ralfs L, Weidner R. Effects of back-support exoskeletons with different functional mechanisms on trunk muscle activity and kinematics. Wearable Technol. 2023;4:e12. Published 2023 Apr 19. doi:10.1017/wtc.2023.5

Seth, A., Sherman, M., Reinbolt, J. A., and Delp, S. L. (2011). OpenSim: A musculoskeletal modeling and simulation framework for in silico investigations and exchange. Procedia IUTAM 2, 212–232.

Schubert T, Weidner R. Development and Biomechanical Evaluation of a Back Exoskeleton to Support Lifting Tasks. Applied Sciences. 2025; 15(9):5007.

Toxiri S, Näf MB, Lazzaroni M, Fernández J, Sposito M, Poliero T, Monica L, Anastasi S, Caldwell DG, & Ortiz J (2019). Back-support exoskeletons for occupational use: An overview of technological advances and trends. IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors, 7, 237–249.

Weidner R, Linnenberg C, Hoffmann N, Prokop G, Edwards V (2020). Exoskelette für den industriellen Kontext: Systematisches Review und Klassifikation. Proceedings of the Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. Frühjahrskongress 2020.

Wu J, Chen Z, Zhang Y, Zhang Q, Wang X, & Tian M (2025). Development of a passive back-support exoskeleton mimicking human spine motion for multi-posture assistance in occupational tasks. Biomimetics, 10(6), 349.

Acknowledgements: This research was funded by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK) through the Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) under Grant No. 16KN084659. The authors gratefully acknowledge Autoflug GmbH as an industrial project partner for their collaboration and technical support, as well as for providing access to their facilities.

Iterative development of a human-machine interface combining modelling and experimental methods using the example of an ankle exosuit

Korinna WELTE[1], Jonas SCHIEBL[2], Ferdinand LANGER[1], Peter SCHMID[1], Mark TRÖSTER[2,3], Christophe MAUFROY[2,3], Thomas MAIER[1]

[1] Institute for Engineering Design and Industrial Design IKTD
Dept. Industrial Design Engineering, University of Stuttgart
Pfaffenwaldring 9, D-70569 Stuttgart
[2] Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation IPA
Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart
[3] Institute of Industrial Manufacturing and Management IFF, University of Stuttgart
Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart

Kurzfassung: Active exosuits offer a promising alternative to passive orthoses for supporting dorsiflexion in individuals with foot drop, provide a more physiological gait. This work investigates the interaction stiffness in the physical human-exoskeleton interface (pHEI) as a key factor influencing actuator performance. An ankle exosuit was developed and experimental measurements were conducted to determine the interaction stiffness in the shank interface. The stiffness was modeled as a spring, and its potential influence on actuator performance was analyzed. The results indicate that the order of magnitude of stiffness (~7.5 N/mm) significantly reduces the force achievable by pneumatic or electrohydraulic actuators. The findings highlight the importance of considering interaction stiffness in exosuit design.

Schlüsselwörter: exosuit, exoskeleton, human-machine interface, interaction stiffness, discomfort, usability

1. Introduction

In the context of an increasingly aging society, the advancement of rehabilitation technologies, in addition to medical progress, is essential to restore active social participation in individuals with mobility impairments resulting from illness or injury. A key aspect of this participation is the mobility and independence of patients, which can be supported through the targeted use of orthoses or exoskeletons /-suits (Awad et al. 2017; Xiloyannis et al. 2021).

In foot drop, caused by paresis or paralysis of the dorsiflexor muscles (m. tibialis anterior, m. extensor digitorum longus, m. extensor hallucis longus), an altered gait pattern frequently occurs, in which the affected foot drops during mid-swing (Carolus et al. 2019). Due to the reduced foot clearance of the dropped foot, the risk of tripping and falling increases significantly (Beyaert et al. 2015). To avoid tripping, the person must increase knee flexion of the swinging leg to compensate for the missing dorsiflexion (Beyaert et al. 2015; Hacke 2016). To improve gait, physiotherapy is commonly applied after acute treatment to specifically train the remaining muscle strength. As full function is rarely restored through physiotherapy alone, orthotic devices are additionally prescribed, depending on the underlying condition and severity of foot drop. The

goals of orthotic treatment are to compensate for functional loss, stabilize unstable joints, and prevent, correct, and treat deformities (Hacke 2016; Strobl et al. 2021).

Currently, three main types of orthoses are available: textile orthoses, which enclose the midfoot or distal lower leg circumferentially or partially and support dorsiflexion via semi-flexible corrective straps. Peroneal springs, which are made of thermoplastic material hold the foot in a permanently adjusted position. And finally, dynamic orthoses made of energy-storing materials such as carbon fiber, which assist the ankle dorsiflexor musculature through active foot return. (GKV-Spitzenverband 2024; Hacke 2016; Strobl et al. 2021)

Despite their clinical benefits, these systems are often associated with pressure points, insufficient adaptation to the foot and shoe geometry, and impairments of the push-off phase, all of which hinder the restoration of a natural gait pattern (Awad et al. 2017; Carolus et al. 2019).

Active exosuits offer a promising approach to restoring a more physiological gait pattern in individuals with foot drop and to overcoming the functional limitations of passive orthoses. By integrating soft actuators, they could provide a phase-specific assistance of ankle dorsiflexion without constraining the natural joint kinematics. Therefore, a systematic development process was undertaken to create a soft-exosuit prototype which is intended to use active soft actuators (e.g. pneumatic muscles or electrohydraulic actuators) to provide the required assistive forces. Our approach (Fig. 1A) consists of a flexible calf wrap that can be tightened with three separate hook-and-loop fasteners and a boa fastener to suit the user's morphology. A semi-rigid plate anchored to the shank distributes the actuator load over a broad area, reducing pressure peaks. The prototype was designed to enable exchange and testing of different actuators. A passive elastic element (a rubber band) spanning the shank-dorsum-foot distance provides passive dorsiflexion support, which is later replaced by active soft actuators (see Fig. 1A). Force transmission to the foot is achieved via a fabric strap equipped with an adjustable buckle, allowing fine-tuned sizing.

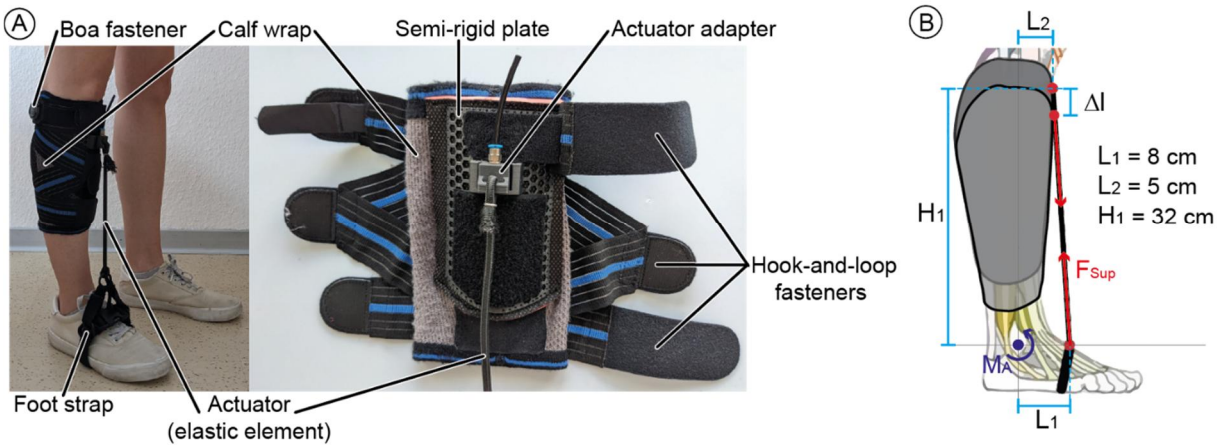


***Figure 1**: Prototype exosuit for dorsiflexion assistance in foot-drop. (A) Exosuit worn with passive assistance provided by a rubber band; detailed view of the device. (B) Schematic illustration of the displacement occurring in the pHEI when the assistive force is applied between the foot dorsum and the shank.*

Because of the inherent compliance of soft-tissue interfaces, interaction forces cause displacements (Δl, see Fig. 1B) of the exosuit relative to the body (Schiebl 2025). Soft actuators, such as pneumatic muscles or electrohydraulic actuators, exhibit strongly strain-dependent support profiles (Daerden & Lefeber 2002; Kellaris et

al. 2018; Soleymani & Khajehsaeid 2020), leading to a loss of support as tissue deformation increases. Therefore, quantifying the interaction stiffness is critical for advancing exosuit development with respect to actuator specifications and interface optimization. In this work, we experimentally characterize the interaction stiffness at the shank interface of our exosuit and provide estimations for actuator selection.

2. Methods

To characterize the interaction between the user and the exosuit, the exosuit prototype was evaluated in a subject study with 10 subjects (S01-S10; 5 female, 5 male) aged 22 to 34 years (mean = 27 years) using an experimental setup designed to measure the displacement of the pHEI as a function of the applied forces. Since a clear separation of the deformations of the sleeve and the human soft tissue is not feasible, the combined system of exosuit and soft tissue was considered, and the resulting interaction stiffness was determined. The measurement setup, illustrated in Figure 2A, uses a pulley arrangement (red line) to transmit defined weight forces (position 2) to the exosuit prototype (position 1). To account for the influence of different gait phases on interaction stiffness, three static leg postures with distinct ankle angles were tested: heel strike (dorsiflexion +15°, Fig. 2B), toe-off (plantarflexion −25°, Fig. 2C), and neutral standing (0°). In each posture, the prototype was loaded in continuous force increments from 0 N to 206 N (step size = 14.7 N), while the absolute displacement was recorded using a ruler attached at position 2. We derived the interaction stiffness for each posture individually from measured force and displacement data. The pHEI was modeled as a single linear spring, in accordance with Schiebl et al. (2025). Each subject was measured twice to assess repeatability, yielding two stiffness values per standing posture.

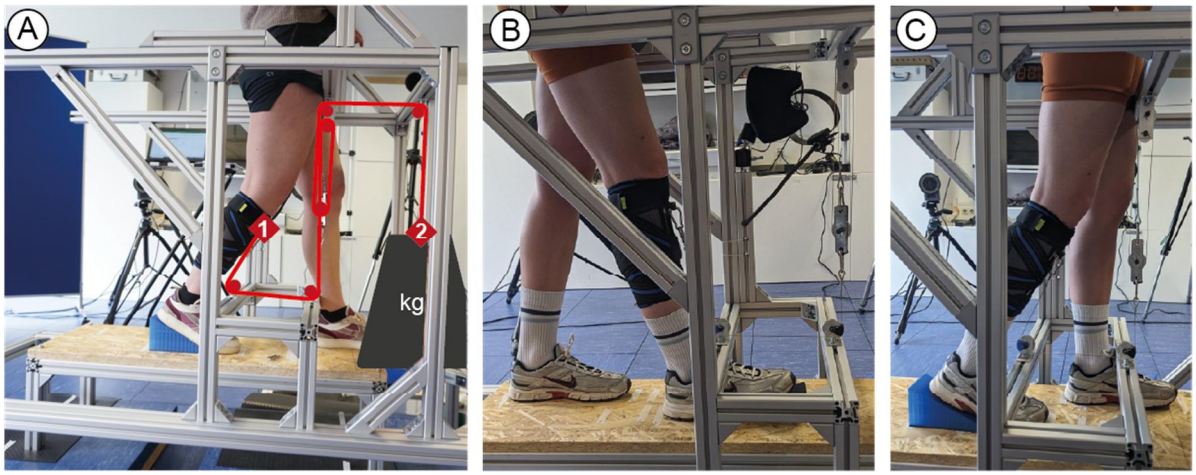


***Figure 2**: Measurement setup. (A) Overview of the setup with the pulley system highlighted in red; Pos. 1 – connection to the exosuit, Pos. 2 – weight load and ruler used to read the displacement. (B) Heel-strike posture (ankle angle: +15°). (C) Toe-off posture (ankle angle: -25°).*

3. Results

All measurement data of a given posture were plotted with the applied force on the y-axis and the measured displacement on the x-axis (see Figure 3). The results show that stiffness values vary significantly among subjects and vary only modestly across the investigated gait phases. We observed buckling of the semi-rigid plate used in the exosuit at higher forces resulting in displacements beyond 20 mm, evident as an abrupt flattening of some of the curves (see Figure 3). Accordingly, interaction stiffness was derived only from data points below 20 mm, and linear regression models were fitted to the respective points. Their slopes correspond to the pHEI's interaction stiffnesses which are shown in Table 1. Similar results in the first and second measurement indicate a good repeatability within subjects.

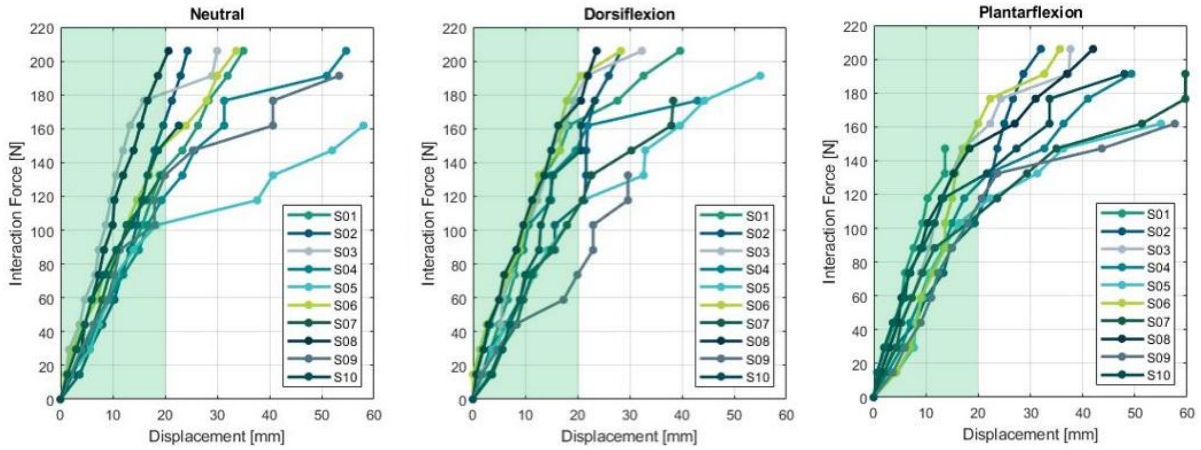


Figure 3: *Force-displacement curves: Results of the first measurements in the neutral (ankle angle = 0°), dorsiflexion (ankle angle = 15°) and plantarflexion (ankle angle = -25°) posture. Individual measurements of the subjects (S01-S10) are shown. The green-shaded region indicates the interval that was used for determining the regression models.*

Table 1: *Overview of the interaction stiffnesses determined for each posture (neutral, heel strike, toe-off) and measurements (M1 & M2). All stiffness values were obtained by fitting a regression line to the measured data points. The mean value reports the average interaction stiffness across all measurements and postures.*

	Neutral 0°	**Heel strike (Dorsiflexion +15°)**	**Toe-off (Plantarflexion −25°)**	**Mean Value**
M1	7.5 N/mm	7.5 N/mm	7.2 N/mm	7.5 N/mm
M2	8.1 N/mm	7.4 N/mm	7.1 N/mm	

4. Discussion

The experimental investigation of the interaction stiffness shows only minimal variations over the gait cycle. For the subsequent analysis of the pHEI, a constant mean interaction stiffness of 7.5 N/mm was therefore assumed. This simplification enables a first quantitative assessment of how the interaction stiffness influences the exosuit's functional performance.

The results of the stiffness measurements and the derived findings should, however, be interpreted in the context of several methodological constraints associated with the measurement setup. Variations in attachment tightness and initial interfacial pressure

resulted from subject specific tightening of the exosuit. Displacement measurements were limited by the 1 mm resolution of the applied measurement method (ruler), and friction within the pulley system may have influenced the estimated interaction stiffness. Furthermore, the analysis was restricted to displacements below 20 mm in order to exclude deformations of the semi-flexible reinforcement structure, which led to subject dependent data sets. Stiffness was determined from pooled data across all participants without a separate assessment of inter subject variability. These simplifications are appropriate for the exploratory nature of this study, which aims to provide a first order characterization of interaction stiffness and its relevance for exosuit performance rather than a definitive, subject specific model.

Based on biomechanical data reported by Reznick et al. (2021), a peak ankle joint moment of approximately 5 Nm is required during dorsiflexion for a person with a body mass of 75 kg. Considering the exosuit geometry shown in Figure 1B, this corresponds to a maximum support force (F_{Sup}) of approximately 60 N required over the gait cycle to fully assist dorsiflexion. Together with the measured interaction stiffness the resulting deformation ($\triangle l$) of the human-exosuit system is approximately 8 mm, corresponding to about 2.5 % of the space available for actuator length.

This deformation has a direct functional impact on the exosuit performance. A portion of the actuator contraction is not converted into effective foot lift but is instead absorbed by elastic deformation of the pHEI. Consequently, a greater actuator contraction is required to achieve successful dorsiflexion assistance. However, this increased contraction shifts the actuator's operating point into a less favorable region of its force-contraction characteristic. For soft actuators, like electrohydraulic actuators (Kellaris et al. 2018) or McKibben-type pneumatic artificial muscles (PAMs) (Daerden & Lefeber 2002; Soleymani & Khajehsaeid 2020), it is well established that the maximum achievable force decreases significantly with increasing contraction. For example, PAMs can lose about half of their force during the first 2.5 % of contraction (Daerden & Lefeber 2002; Soleymani & Khajehsaeid 2020), electrohydraulic actuators lose more than 80 % (Kellaris et al. 2018). Thus, the measured interaction stiffness limits the efficacy of force transmission and substantially reduces usable actuator force. This interaction highlights that the interaction stiffness is a key design parameter governing the functional performance of the exosuit.

A straightforward approach to mitigate these losses would be to increase the interaction stiffness in order to reduce deformation and to operate the actuator closer to its optimal force-contraction range. However, interaction stiffness cannot be increased indefinitely. The necessary attachment pressure may negatively affect wearer comfort or restrict natural joint motion (Kermavnar et al. 2020). An alternative is to use a more powerful actuator, however, this adds system weight, which is also detrimental to user comfort. As a result, the system faces a classical optimization problem: identify an equilibrium that provides sufficient stiffness for efficient force transmission while maintaining adequate compliance to preserve comfort and mobility, with minimal additional weight to the system.

At this point, purely experimental approaches reach their limits. While physical prototypes are essential to capture realistic human-exosuit interactions and physiological responses, they allow only limited systematic variation of interaction stiffness and associated design parameters. Simulation approaches provide a decisive advantage in this context. They enable targeted investigation of different interaction stiffness values, actuator characteristics, and geometric configurations, while also accounting for addi-

tional factors that are difficult to isolate experimentally, such as nonlinear material behavior or subject-specific soft tissue properties. Moreover, simulations allow precise analysis of the resulting actuator operating point within its force-contraction curve.

Consequently, the combination of experimental characterization and simulation-based optimization represents a necessary next step in the development of exosuit human-machine interfaces. Only through the integrated use of both approaches can an exosuit HMI be designed that delivers effective biomechanical assistance, operates the actuator within its optimal working range, and simultaneously ensures wearer comfort.

5. Literature

Awad LN, Bae J, O'Donnell K, De Rossi SMM, Hendron K, Sloot LH, Kudzia P, Allen S, Holt KG, Ellis TD, Walsh CJ (2017) A soft robotic exosuit improves walking in patients after stroke. Sci Transl. Med. 9(400):eaai9084. https://doi.org/10.1126/scitranslmed.aai9084.

Beyaert C, Vasa R, Frykberg G (2015) Gait post-stroke: Pathophysiology and rehabilitation strategies. Neurophysiologie Clinique, 45(4–5):335–355. https://doi.org/10.1016/j.neucli.2015.09.005.

Carolus AE, Becker M, Cuny J, Smektala R, Schmieder K, Brenke C (2019) The Interdisciplinary Management of Foot Drop. Dtsch Arztebl Int.116(20):347-354. https://doi.org/10.3238/ arztebl.2019.0347.

Daerden F, Lefeber D (2002) Pneumatic artificial muscles: Actuators for robotics and automation. Eur. J. Mech. Environ. Eng. 47:11–21.

GKV-Spitzenverband (2024), Hilfsmittelverzeichnis. https://hilfsmittel. gkv-spitzenverband.de/home (Zugriff am 24. 06. 2024).

Hacke W (2016) Neurologie. 14. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, isbn: 978-3-662-46891-3. https://doi.org/10.1007/978-3-662-46892-0.

Kellaris N, Venkata VG, Smith GM, Mitchell SK, Keplinger C (2018) Peano-HASEL actuators: Muscle-mimetic, electrohydraulic transducers that linearly contract on activation. Science Robotics, 3(14). https://doi.org/10.1126/scirobotics.aar3276.

Kermavnar T, O'Sullivan KJ, Casey V, De Eyto A, O'Sullivan LW (2020) Circumferential tissue compression at the lower limb during walking, and its effect on discomfort, pain and tissue oxygenation: Application to soft exoskeleton design. Applied Ergonomics, 86, 103093. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103093.

Reznick E, Embry KR, Neuman R, Bolívar-Nieto E, Fey NP, Gregg RD (2021) Lower-limb kinematics and kinetics during continuously varying human locomotion. Scientific Data, 8(1), 282. https://doi.org/10.1038/s41597-021-01057-9.

Schiebl J, Elsner N, Birchinger P, Aschenbrenner J, Maufroy C, Tröster M, Schneider U, Bauernhansl T (2025) Quantification of the mechanical properties in the Human–Exoskeleton upper arm interface during overhead work postures in healthy young adults. Sensors, 25(15), 4605. https://doi.org/10.3390/s25154605.

Soleymani R, Khajehsaeid H (2020) A mechanical model for McKibben pneumatic artificial muscles based on limiting chain extensibility and 3D application of the network alteration theories. International Journal of Solids and Structures, 202:620–630. https://doi.org/10.1016/ j.ijsolstr.2020.06.036.

Strobl WM, Schikora N, Pitz E, Abel C (2021) Neuroorthopädie – Disability Management: Multiprofessionelle Teamarbeit und interdisziplinäres Denken. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, isbn: 978-3-662-61329-0. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61330-6.

Xiloyannis M, Alicea R, Georgarakis A, Haufe FL, Wolf P, Masia L, Riener R (2021) Soft robotic suits: state of the art, core technologies, and open challenges. *IEEE Transactions on Robotics*, *38*(3), 1343–1362. https://doi.org/10.1109/tro.2021.3084466.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Konzeption und Implementierungsansatz einer hybriden Architektur für ein datengesteuertes Exoskelett

Amir NEMATI[1], Chen CHEN[1], David SCHERB[1], Robert WEIDNER[1,2]

[1] Technische Universität Bergakademie Freiberg
Professur für Automatisierte und Autonome Systeme
Bernhard-von-Cotta-Str. 4, D-09599 Freiberg
[2] Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg
Laboratorium Fertigungstechnik, Holstenhofweg 84, D-22043 Hamburg

Kurzfassung: Physische Belastungen bei Tätigkeiten in und über Kopfhöhe stellen ein erhebliches ergonomisches Risiko dar. Exoskelette können unterstützen, bieten jedoch meist nur vordefinierte Unterstützungsprofile. Eine automatische, kontextabhängige Adaption könnte die Wirkung verbessern. Dieser Beitrag stellt eine offene hybride Steuerungsarchitektur für Exoskelette als Grundlage zur Adaption der Unterstützungscharakteristik und zum Live-Monitoring vor. Die Umsetzung erfolgt am Beispiel des aktiven Schulterexoskelett S700 (exoIQ) mit Embedded-Einheit, Echtzeit-Datenerfassung, Aktoransteuerung und ROS-2-basiertem System für Datenverarbeitung. Es zeigt die Bereitstellung interner Sensordaten und schafft die Grundlage für eine nachträgliche, angepasste Steuerungsalgorithmen.

Schlüsselwörter: Exoskelett, Retrofit, Pneumatik, Embedded-System, Datenintegration, ROS 2

1. Motivation

Tätigkeiten in und über Kopfhöhe gelten als ergonomisch hoch belastend und sind mit einem erhöhten Risiko für Beschwerden im Schulter- und Nackenbereich verbunden (Otten et al. 2018). Trotz Automatisierung sind entsprechende Tätigkeiten in bspw. unergonomischen Haltungen, mit repetitiven Bewegungen oder Lasten durch Werkzeuge und Bauteil u. a. in Automobilindustrie, Luft-/Raumfahrt und Bauwesen verbreitet (Weidner et al. 2016). Schulterexoskelette (passiv/aktiv) können die Lasten durch physische Unterstützung bei Tätigkeiten mit einer Schulterbelastung reduzieren (Otten et al. 2018; Sänger et al. 2022). Passive Systeme erlauben häufig eine mechanische Einstellung der Unterstützung über die Veränderung der Vorspannung oder dem Austausch entsprechender Elemente, jedoch keine automatische, kontextabhängige Anpassung während der Aufgabe. Kommerzielle aktive Systeme bieten häufig nur vordefinierte Unterstützungsstufen oder Modusprofile, die über ein Bedienelement ausgewählt werden. Kontextfaktoren wie Werkzeuggewicht oder Prozessphase bleiben dabei meist unberücksichtigt, z. B. eine automatische Anpassung an das Werkzeuggewicht oder höhere Unterstützung beim Schraubprozess. Eine nachträgliche Erweiterung durch den Anwender ist bei kommerziellen Systemen nicht möglich, da es keinen Echtzeit-Zugriff auf Mess- und Stellgrößen gibt. Die Exoskelette sind damit eine „Black Box“: interne Sensorik, Systemzustände, Stellgrößen und Regelparameter sind nicht transparent bzw. nicht reproduzierbar auslesbar. Insbesondere die Integration zusätzlicher Messquellen, wie Elektromyographie (EMG) oder Motion Capture, und deren

zeitliche Synchronisation mit internen Exoskelettsignalen setzt stabile, offene Schnittstellen voraus (Ahmad et al. 2024). In diesem Beitrag wird ein Retrofit-Ansatz vorgestellt, der die Nachrüstung durch Austausch bzw. Umgehung der proprietären Steuerelektronik ermöglicht, um Sensorik, Aktorik und Systemzustände über definierte Schnittstellen zugänglich zu machen. Die exemplarische Umsetzung erfolgt am pneumatisch aktuierten Schulterexoskelett S700 (exoIQ GmbH) um. Eine hybride Embedded/Host-Architektur erfasst interne Sensordaten (Winkel, Druck), steuert die Pneumatik und stellt die Daten in einer ROS-2-kompatiblen Struktur für Monitoring und Logging bereit.

2. Stand der Technik

Für die Bewertung von Exoskeletten im industriellen Kontext existieren methodische Ansätze, die physiologische Messgrößen, subjektive Kriterien und arbeitsplatznahe Szenarien kombinieren (Weidner et al. 2018). Ralfs et al. (2021) schlagen hierfür einen modularen Testkurs mit Systemprüfung und anwendungsnahen Stationen vor. Ziel ist insbesondere der Vergleich unterschiedlicher Exoskelettmodelle unter identischen Versuchsaufbauten. Dieser Systemvergleich ist auch bei passiven Exoskeletten möglich und setzt nicht zwingend den Zugriff auf interne Systemzustände voraus. Transparenz und Reproduzierbarkeit interner Zustände sowie der Unterstützungsparameter werden vor allem dann zentral, wenn innerhalb eines aktiven Systems verschiedene angepasste Unterstützungsverläufe bzw. Regelstrategien im gleichen Versuchsaufbau untersucht und miteinander verglichen werden sollen. In vielen kommerziellen Exoskeletten sind Unterstützungsprofile vordefiniert und nutzen als Eingangsgröße häufig nur exoskelettinterne kinematische Größen (z. B. Winkel). Weitere mögliche Einflussgrößen wie EMG, Werkzeuggewicht oder werkzeugspezifische Interaktionen bleiben typischerweise unberücksichtigt. Eine kontextabhängige Anpassung erfordert daher offenen Zugriff auf interne Daten und Zustände sowie eine experimentierfähige Steuerung (Ott et al. 2022). Ein offener Steuerungszugang ist zudem Voraussetzung für vernetzte Ansätze, in denen bspw. smarte Handwerkzeuge, aktive Exoskelette und digitale Assistenzsysteme sensorisch und informationstechnisch gekoppelt werden sollen (Mundt et al. 2025). Im Kontext der Reproduzierbarkeit identifiziert das Open-Exo-Projekt (Williams et al. 2024) geschlossene Architekturen als wesentliches Hindernis für vergleichbare Forschung. Daraus folgt der Bedarf an offenen, dokumentierten Schnittstellen und modularen Forschungsplattformen. Auf Hardware-Ebene berichten Beltrán-Escobar et al. (2024) über Limitationen ressourcenbeschränkter Mikrocontroller-Plattformen, insbesondere bei zeitstempelgenauer, hochratiger Datenaufzeichnung und Kommunikation. Strzelczyk et al. (2022) zeigen demgegenüber, dass Raspberry-Pi-basierte Systeme in Kombination mit ROS eine echtzeitnahe Sensorverarbeitung und Datenübertragung in modularen Architekturen unterstützen. Dies erleichtert die standardisierte Bereitstellung sowie die zeitliche Synchronisation multimodaler Datenquellen und stellt eine geeignete Grundlage für experimentierfähige Exoskelett-Plattformen dar.

3. Systemkonzept und Implementierung

Die entwickelte Architektur bietet eine offene, hybride Daten- und Steuerungsarchitektur zur Nachrüstung kommerzieller Exoskelette. Exemplarisch wird die proprietäre

S700-Steuereinheit durch eine zweistufige Split-Architektur ersetzt. In der Serienkonfiguration erfasst die Steuereinheit interne Sensorsignale (z. B. Winkelsensorik) und regelt über Ventile/Kompressor den Pneumatikdruck in Abhängigkeit von der gewählten Unterstützungsstufe bzw. einem vordefinierten Profil (Preset). Dadurch sind interne Zustände und Regelgrößen typischerweise nicht offen zugänglich. Der Retrofit-Ansatz ermöglicht einen zyklischen Zugriff auf interne Sensorik und Aktorik sowie Bedieneingaben (z. B. Unterstützungsstufe/Preset) und stellt diese über eine standardisierte Kommunikationsschnittstelle für Monitoring und Logging bereit. Damit wird eine standardisierte und erweiterbare Forschungsplattform geschaffen und es entstehen definierte Schnittstellen, um in Folgearbeiten proprietäre Steuerungsanteile gezielt zu ersetzen oder zu ergänzen. Eine Übersicht der Architektur ist in Abbildung 1 dargestellt.

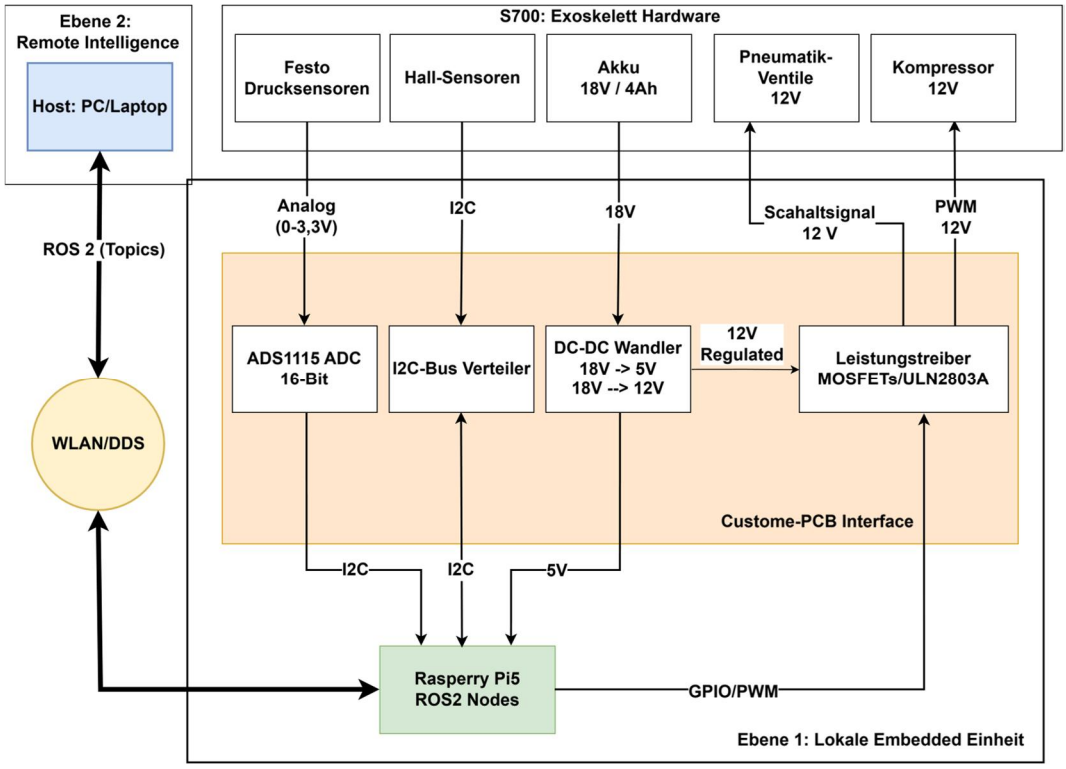


***Abbildung 1**: Übersicht der Daten- und Signalpfade einer Zwei-Ebenen-Architektur (Embedded/Host) zur Nachrüstung kommerzieller Exoskelette, exemplarisch umgesetzt am S700. Die Architektur ist um zusätzliche Messquellen erweiterbar.*

3.1. Architekturprinzip: Split-Architektur

Die Systemarchitektur ist als zweistufige Embedded/Host-Aufteilung ausgelegt. Die zeitkritische Sensor-/Aktor-Anbindung erfolgt auf der Embedded-Ebene. Nicht zeitkritische Verarbeitung, Datenverteilung und Experimentierlogik liegen auf der Host-Ebene. Abbildung 1 zeigt die Daten- und Signalpfade am Beispiel des S700. Auf der Embedded-Ebene (Raspberry Pi 5) werden interne Exoskelettsignale zyklisch erfasst und die Aktorik über definierte I/O-Schnittstellen angesteuert. Rohdaten- und Kommandoschnittstellen werden offen bereitgestellt, ohne die proprietäre Steuerlogik nachzubilden (Details in Abschnitt 3.2). Die Host-Ebene nutzt ROS 2 zur Aggregation, Visualisierung und Protokollierung der Daten sowie zur Integration externer Messquel-

len. Der Datentransport erfolgt über DDS mit konfigurierbarer QoS für robuste Verteilung und Aufzeichnung. Regelungs- und Adaptionsalgorithmen werden in Folgearbeiten auf dieser Basis umgesetzt.

3.2. Implementierung (Hardware und Software)

Als Embedded-Plattform kommt ein Raspberry Pi 5 zum Einsatz, ergänzt um einen I²C-ADC (ADS1115). Die Anbindung an das S700 erfolgt über eine für den Retrofit entwickelte Leiterplatte (Custom-PCB). Sie standardisiert Pegel und Datenpfade und stellt definierte Schnittstellen bereit. Im aktuellen Prototyp sind sechs Magnetventile, drei Drucksensoren sowie zwei Hall-Winkelsensoren zur Arm-Elevation angebunden. Die Drucksensorik umfasst zwei Aktordrücke und einen Versorgungsdruck. Die Leiterplatte übernimmt die ADC-Digitalisierung (0–3,3 V) und verteilt I²C-Signale. Zudem stellt sie die Leistungsansteuerung für Ventile und Kompressor bereit (MOSFET/ULN2803A) und erzeugt die benötigten Versorgungsspannungen via DC/DC (18 V auf 5 V bzw. 12 V). Analoge Eingänge werden gefiltert und skaliert. Für den Funktionsnachweis wird eine nominale Messrate von 10 Hz verwendet. Softwareseitig erfasst der Raspberry Pi die Sensorwerte zyklisch, versieht sie mit Zeitstempeln und publiziert sie als ROS-2-Topics. Aktoren werden über eine Kommandoschnittstelle angesteuert, ohne die proprietäre Steuerlogik nachzubilden. Auf der Host-Seite werden die Topics für Monitoring, Logging und Analyse genutzt. Zusätzliche Datenquellen lassen sich dort zeitgestempelt und synchron integrieren.

3.3. Evaluation / Funktionsnachweis

Zum Funktionsnachweis der Architektur wurde ein S700 im Laboraufbau betrieben und interne Signale (Winkel links/rechts sowie Druck links/rechts und Versorgungsdruck) zyklisch erfasst und aufgezeichnet. Die Unterstützung bleibt dabei konstant (keine adaptive Regelung). Es wird überprüft, ob die Datenbereitstellung über die Schnittstelle über die gesamte Messdauer kontinuierlich erfolgt und für Monitoring/Logging nutzbar ist. Abbildung 2 zeigt zwei exemplarische Sequenzen (links: A, rechts: B). In beiden Fällen ist eine phasenweise Kopplung zwischen Winkelverlauf (Bewegungszustand) und Druckverlauf (Unterstützungszustand) erkennbar. Unterschiede im Versorgungsdruckniveau spiegeln sich in den Aktordrücken wider.

4. Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass ausgewählte interne Sensorsignale (drei Drucksensoren und zwei Hall-Winkelsensoren) zyklisch erfasst und in der vorgesehenen ROS-2-Topic-Struktur auf der Host-Ebene bereitgestellt werden. Für zwei exemplarische Testsequenzen werden Zeitreihen mit einer nominalen Abtastrate von 10 Hz aufgezeichnet und visualisiert (Abbildung 2).
Die Bewegungen wurden manuell ausgeführt. Die Exoskelettunterstützung blieb unverändert. Eine gezielte Parametrierung und Variation ist Gegenstand der Folgearbeiten. In den Sequenzen sind keine sichtbaren Aussetzer der Topic-basierten Datenbereitstellung erkennbar. Beide Sequenzen verdeutlichen die zeitliche Kopplung der Druckverläufe mit den zugehörigen Winkeländerungen und damit die Eignung der Topic-basierten Datenpipeline für wiederholbare Mess- und Auswerteszenarien im Labo-

raufbau. Die Drucksignale weisen unter den gewählten Randbedingungen (Bewegungsablauf, konstante Bedieneinstellung/Unterstützungsstufe) wiederkehrende Phasen des Druckauf- und -abbaus auf, während die Hall-Sensoren die korrespondierenden Winkelverläufe der Armhebung inklusive Halte- und Rückführphasen liefern. Durch die synchrone Bereitstellung beider Messgrößen wird eine gekoppelte Auswertung von Bewegungszustand (Winkel) und Pneumatikzustand (Druck) ermöglicht.

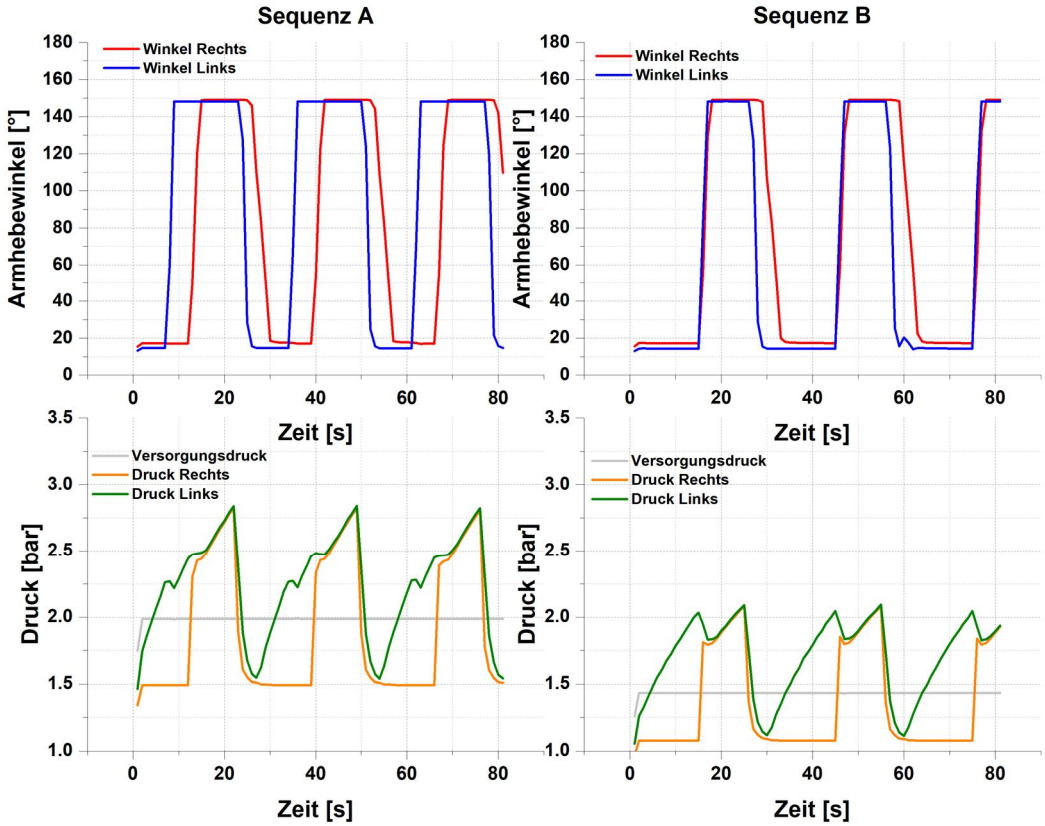


***Abbildung 2**: Exemplarische Sensorsequenz A und B (links: Sequenz A, rechts: Sequenz B) Dargestellt sind Armhebewinkel (oben) sowie Druckverläufe (unten) für Winkel Links/Rechts und Druck Links/Rechts einschließlich Versorgungsdruck.*

5. Diskussion und Ausblick

Der Retrofit-Ansatz kann proprietäre Steuerung eines kommerziellen Exoskeletts in eine modulare, erweiterbare Architektur überführen. Damit werden interne Mess- und Stellgrößen über definierte Schnittstellen zugänglich. Winkel- und Drucksignale können mit dem vorgestellten Ansatz nachvollziehbar erfasst und für Monitoring sowie Logging in Echtzeit bereitgestellt werden. Gleichzeitig entsteht eine technische Basis, um proprietäre Steuerungsanteile in Folgearbeiten gezielt zu ersetzen, zu ergänzen oder eigene Unterstützungscharakteristiken zu implementieren. Die Host-Anbindung erleichtert die Fernüberwachung und Kopplung externer Messtechnik. Der Funktionsnachweis in diesem Beitrag fokussiert auf dem Live-Monitoring und Logging der nachgerüsteten Architektur. Ein Vergleich unter identischen Bewegungsaufgaben ist als zukünftiger Schritt vorgesehen, sobald eine geeignete Vergleichskonfiguration oder eine rückrüstbare Umgebung verfügbar ist. Als nächste Schritte sind der Ausbau eines

vollständigen ROS-2-Setups mit stabiler Kommunikation und Diagnose, die Implementierung regelungsbasierter Unterstützungsstrategien sowie die Ableitung adaptiver Unterstützungskennlinien aus Kontextmerkmalen (z. B. Bewegungsphase, Werkzeuggewicht) geplant. Diese Strategien sollen in arbeitsplatznahen Versuchsaufbauten untersucht werden, mit Fokus auf dem Vergleich angepasster Unterstützungsverläufe innerhalb eines Systems. Multimodale Daten aus Exoskelett-Sensorik und externer Messtechnik werden hierzu zeitlich synchron zusammengeführt und strukturiert abgelegt. Weitere Sensorik lässt sich beim vorgestellten Ansatz ergänzen.

6. Literatur

Ahmad J, Fanti V, Caldwell DG, Di Natali C (2024). Framework for the adoption, evaluation and impact of occupational Exoskeletons at different technology readiness levels: A systematic review. Robotics and Autonomous Systems 179:104743

Beltrán-Escobar M, Alarcón TE, Rumbo-Morales JY, López S, Ortiz-Torres G, Sorcia-Vázquez FDJ (2024). A Review on Resource-Constrained Embedded Vision Systems-Based Tiny Machine Learning for Robotic Applications. Algorithms 17:476

exoIQ GmbH. exoIQ [https://www.exoiq.com]

Mundt C, Weidner R, Möller C, Dege J, Lödding H (2025). Kopplung von Smarten Handwerkzeugen, aktiven Exoskeletten und Digitalen Assistenzsystemen in der Produktion der Zukunft. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 120:457–463

Ott O, Ralfs L, Weidner R (2022). Framework for qualifying exoskeletons as adaptive support technology. Front. Robot. AI 9:951382

Otten BM, Weidner R, Argubi-Wollesen A (2018). Evaluation of a Novel Active Exoskeleton for Tasks at or Above Head Level. IEEE Robot. Autom. Lett. 3:2408–2415

Ralfs L, Hoffmann N, Weidner R (2021). Method and Test Course for the Evaluation of Industrial Exoskeletons. Applied Sciences 11:9614

Sänger J, Yao Z, Schubert T, Wolf A, Molz C, Miehling J, Wartzack S, Gwosch T, Matthiesen S, Weidner R (2022). Evaluation of Active Shoulder Exoskeleton Support to Deduce Application-Oriented Optimization Potentials for Overhead Work. Applied Sciences 12:10805

Strzelczyk P, Tomczewski K, Wrobel K (2022). The Middleware for an Exoskeleton Assisting Upper Limb Movement. Sensors 22:2986

Weidner R, Otten B, Argubi-Wollesen A, Yao Z (2018). Support Technologies for Industrial Production. in: Karafillidis, A., Weidner, R. (Eds.), Developing Support Technologies: Integrating Multiple Perspectives to Create Assistance That People Really Want. Springer International Publishing, Cham, pp. 149–156

Weidner R, Argubi-Wollesen A, Otten B, Yao Z, Berger C, Wulfsberg J.P, (2016). Unterstützungssysteme für Tätigkeiten in und über Kopfhöhe in der industriellen Produktion. in Proc. 62 GfA Frühjahrskongress Arbeit in Komplexen Systemen, Digital, Vernetzt, Human?, 2016, pp. 1–6.

Williams JR, Cuddeback CF, Fang S, Colley D, Enlow N, Cox P, Pridham P, Lerner ZF (2024). OpenExo: An Open-Source Modular Exoskeleton to Augment Human Function

Danksagung: Förderung im Projekt EVO-MTI durch dtec.bw. dtec.bw wird durch die EU – NextGenerationEU – finanziert.

Biomechanische Wirksamkeit von Exoskeletten zur Reduktion der muskuloskelettalen Belastung im Gesundheitswesen – eine Literaturübersicht

Mirko KAUFMANN[1,2], Ulrich HARTMANN[2], Albert NIENHAUS[3]

[1] Institut für Sportwissenschaften, Universität Koblenz
Universitätsstraße 1, D-56070 Koblenz
[2] RheinAhrCampus Remagen der Hochschule Koblenz
Joseph-Rovan-Allee 2, D-53424 Remagen
[3] Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege
Pappelallee 33/35/37, D-22089 Hamburg

Kurzfassung: Muskel-Skelett-Erkrankungen treten besonders im Gesundheits- und Sozialwesen durch eine hohe muskuloskelettale Belastung (MSB) bei der Arbeit auf. Exoskelette gelten als eine mögliche Maßnahme zur Reduktion der MSB. Eine systematische Literaturrecherche identifizierte 18 Labor- und Feldstudien zum Einsatz von Exoskeletten im Gesundheits- und Sozialwesen, wobei deren biomechanische Wirksamkeit in der Reduktion der MSB in Form einer Verringerung der muskulären und subjektiven Beanspruchungen aufgezeigt werden konnte.

Schlüsselwörter: Exoskelette, biomechanische Wirksamkeit, muskuloskelettale Belastung, Gesundheits- und Sozialwesen

1. Einleitung

Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems (MSE) waren im Jahr 2024 die häufigste Ursache für Arbeitsunfähigkeitstage (AU-Tage; 19,4%), noch vor Erkrankungen des Atmungssystems (18,1%) sowie psychischen Erkrankungen (16,7%; BAuA 2025). Insgesamt gehören Rückenschmerzen und Schulterläsionen dabei zu den zehn häufigsten Einzeldiagnosen nach AU-Tagen (Klemm & Meyer 2025). Meistens steht das Auftreten dieser MSE in den betroffenen Körperregionen im Zusammenhang mit einer erhöhten muskuloskelettalen Belastung (MSB), welche oftmals durch das Heben und Tragen von Lasten oder durch Arbeiten in Zwangshaltungen, bspw. mit vorgebeugtem Oberkörper oder mit angehobenen Armen auf Schulter- und Überkopfniveau, verursacht werden (Grieve & Dickerson 2008; Sauter et al. 2021). Die hohe Prävalenz dieser arbeitsbedingten Erkrankungen stellt die Arbeitswissenschaft und -medizin somit vor eine große Herausforderung, weshalb eine hohe Notwendigkeit zur Prävention berufsbedingter MSE besteht (Clari et al. 2021; Grieve & Dickerson 2008).

Tragbare Exoskelette werden als eine Möglichkeit angesehen, die MSB bei Arbeitstätigkeiten zu verringern, indem die entsprechende Körperregion, wie z. B. die Arme oder der Oberkörper, mittels kraftspeichernder, -umlenkender oder erzeugender Elemente, wie z. B. Federn (passive Systeme) oder Motoren (aktive Systeme), physisch unterstützt wird (Bär et al. 2021). Diese Maßnahme soll wiederum die betroffene Muskulatur entlasten, die für die Generierung des für die Ausführung der Arbeitstätigkeit notwendigen Drehmomentes verantwortlich ist und könnte somit nachhaltig zur Verringerung der Fehltage durch arbeitsbedingte MSE beitragen (Bär et al. 2021).

Speziell im Gesundheits- und Sozialwesen treten MSE vermehrt auf (18,0 Tage pro Diagnose; BAuA 2025), vor allem im Rücken und in der Schulter, bspw. bei OP- oder Krankenpfleger: innen sowie bei Chirurg: innen (Clari et al. 2021; Epstein et al. 2018). Exoskelette könnten somit insbesondere für Mitarbeitende in diesen Bereichen eine präventive Maßnahme darstellen, um die MSB am Arbeitsplatz zu reduzieren und damit langfristig die Anzahl arbeitsbedingter MSE zu verringern. Um einen Überblick über die bisherigen Effekte von Exoskeletten auf die MSB bei Arbeiten im Gesundheits- und Sozialwesen zu erhalten, wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt, um deren biomechanische Wirksamkeit in der Reduktion der MSB während der Ausführung von Arbeitstätigkeiten in diesen Bereichen zu evaluieren.

2. Methodik

Zu Beginn wurde die Zielstellung der Literaturrecherche nach dem PICOS-Verfahren (**P**opulation, **I**ntervention, **C**omparisons, **O**utcome und **S**etting) präzisiert:

„Evaluation der biomechanischen Wirksamkeit von Exoskeletten **(I)** zur Reduktion der muskuloskelettalen Belastung **(O)** bei erwachsenen, körperlich gesunden Personen **(P)** während der Ausführung von Arbeitstätigkeiten im Gesundheits- und Sozialwesen **(S)** im Vergleich zur Ausführung der Arbeitstätigkeit ohne Exoskelett **(C)**".

Auf Basis dieser Zielstellung wurden Ein- und Ausschlusskriterien für die Literaturrecherche festgelegt, die bei der Definition der Suchbegriffe und der finalen Auswahl der Studien berücksichtigt wurden. In die Recherche wurden nur Veröffentlichungen aufgenommen, in denen der Einfluss bereits fertigentwickelter Exoskelette auf die MSB an erwachsenen, körperlich gesunden Personen im Rahmen einer wissenschaftlichen Studie evaluiert wurde. Dabei musste die Studie eine Kontrollbedingung ohne Exoskelett umfassen und die Arbeitstätigkeiten mussten eindeutig dem Bereich Gesundheits- oder Sozialwesen zugeordnet werden können. Zur Einordnung der Arbeitstätigkeiten wurde eine Auflistung der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege verwendet, die Unternehmen im Gesundheits- und Sozialwesen betreut (BGW 2026). Die Literaturrecherche wurde in den Datenbanken „Pubmed" und „Scopus" im Juni 2025 von zwei Autoren durchgeführt. Die verwendeten Suchbegriffe beinhalteten u.a. die Schlüsselwörter „exoskeleton", „healthcare" und „social care".

3. Ergebnisse

Im Rahmen der Literaturrecherche wurden 18 Studien identifiziert, die die zuvor definierten Einschlusskriterien erfüllten (elf im Labor, sieben im Feld). In allen Studien wurde die Ausführung der Arbeitstätigkeit mit einem Exoskelett immer gegen eine Kontrollbedingung ohne Exoskelett evaluiert. Die Ergebnisse der einzelnen Studien für die Exoskelett-Bedingung werden nachfolgend daher immer in Relation zur Kontrollbedingung beschrieben.

In sechs Laborstudien zeigte sich bei Nutzung eines rumpfunterstützenden Exoskeletts eine signifikante Reduktion in der Muskelaktivität um bis zu −12,0 %MVC (engl. „maximal voluntary contraction") in verschiedenen Anteilen bzw. Muskeln des Erector Spinae (ES) beim Baden und beim Transport bzw. Transfer von Patienten, bei der kardiopulmonalen Wiederbelebung und bei simulierten chirurgischen Eingriffen (Hwang et al. 2021; Man et al. 2022; Maurice et al. 2023; So et al. 2020; Tetteh et al. 2022; Zheng et al. 2024; Zheng et al. 2025). Zudem konnte in den meisten dieser

Laborstudien sowie bei Guittienne und Forestier (2025) und Miura et al. (2021) eine (teilweise signifikant) geringere empfundene Beanspruchung/Ermüdung bei den Teilnehmenden während der Arbeit mit einem Rumpf-Exoskelett sowohl global (Guittienne & Forestier 2025; Man et al. 2022; So et al. 2020) als auch lokal im Rücken/Rumpf (Maurice et al. 2023; Miura et al. 2021; Tetteh et al. 2022) erfasst werden. Im Kontrast dazu berichteten Shinohara et al. (2024) von einem höheren, jedoch nicht signifikanten Anstieg der empfundenen Schmerzen im Unterschenkel zwischen vor und nach einem simulierten chirurgischen Eingriff im Labor mit einem Exoskelett für die unteren Extremitäten. In einigen Laborstudien wiesen die Teilnehmenden eine signifikant erhöhte Rumpfflexion (bis zu +13,4°) beim Tragen eines Rumpf-Exoskeletts während der Handhabung eines Patienten auf (Chen et al. 2025; Hwang et al. 2021; Maurice et al. 2023). Chen et al. (2025) konnten zudem zeitgleich ein signifikant geringeres lumbales Gelenkflexionsmoment (bis zu −34,2 Nm) bei Nutzung eines Rumpf-Exoskelettes feststellen. Guittienne und Forestier (2025) sowie Tetteh et al. (2022) zeigten im Labor beim Tragen eines Schulter-Exoskeletts eine signifikant reduzierte Muskelaktivität (bis zu −2,3 %MVC) im Anterior Deltoideus (AD) und Medialen Deltoideus (MD) sowie eine geringere subjektive Beanspruchung (nur Guittienne & Forestier 2025) bei der simulierten Mobilisation eines Patienten und bei statischen chirurgischen Armhaltungen.

In zwei Feldstudien konnte eine signifikant geringere Muskelaktivität im AD (bis zu −7,9 %MVC) sowie eine geringere, jedoch nicht signifikante, empfundene Beanspruchung/Diskomfort bei der Ausführung chirurgischer Eingriffe und der Reinigung chirurgischer Instrumente mit einem Schulter-Exoskelett festgestellt werden (Arnoux et al. 2023; Cha et al. 2024). Nutz et al. (2024) zeigten bei der Ausführung realer chirurgischer Eingriffe mit einem Schulter-Exoskelett ebenfalls einen signifikant geringeren Anstieg der Schmerzen/Beeinträchtigungen in der Schulter. Die Teilnehmenden in der Studie von Cha et al. (2024) wiesen eine (teilweise signifikant) geringere Zeit in einem beanspruchenden Schulterelevationswinkel während realer chirurgischer Eingriffe mit einem Schulter-Exoskelett auf. Tetteh et al. (2023) stellten während der Erstellung von Echokardiogrammen mit einem Schulter-Exoskelett eine signifikant geringere Armelevation fest. Kim et al. (2025) und Katsarou et al. (2024) berichteten von einer signifikant verringerten Zeit in beanspruchenden Körperhaltungen im Nacken- und Rumpfbereich sowie einen signifikant geringeren Diskomfort im Nacken (nur bei Kim et al. 2025) bei der Nutzung eines passiven Nacken- bzw. Ganzkörper-Exoskeletts während realer chirurgischer Eingriffe. Zudem wurde ein Rumpf-Exoskelett in der Pflege über eine Tagesschicht evaluiert, wobei eine nicht signifikante Reduktion in der totalen Muskelaktivität (−0.8 %MVC; gemittelt über acht Muskeln und eine Schicht) sowie ein signifikanter erhöhter Anstieg in der empfundenen Beanspruchung zwischen vor und nach der Tagesschicht festgestellt werden konnte (Saurio et al. 2025).

4. Diskussion

In den meisten der gefundenen Studien konnte bei der Ausführung verschiedener Arbeitstätigkeiten aus der Patientenhandhabung (Guittienne & Forestier 2025; Hwang et al. 2021; Man et al. 2022; Maurice et al. 2023; Zheng et al. 2024; Zheng et al. 2025), bei simulierten/realen chirurgischen Eingriffen (Cha et al. 2024; Tetteh et al. 2022), bei der kardiopulmonalen Wiederbelebung (So et al. 2020) und bei der Reinigung von chirurgischen Instrumenten (Arnoux et al. 2023) mit einem Rumpf- oder Schulter-Exoskelett eine geringere Aktivität in den Muskeln identifiziert werden, welche basierend auf der Funktionsweise des entsprechenden Exoskeletts primär unterstützt werden

sollen. Dies beinhaltet u.a. für die Rückenmuskulatur verschiedene Anteile des ES, der primär für die Rumpfflexion zuständig ist (Hwang et al. 2021), sowie für die Schultermuskulatur den AD und den MD, die maßgeblich für die Armelevation notwendig sind (Cha et al. 2024). Diese Reduktion in der Aktivität deutet auf eine geringere Beanspruchung in diesen Muskeln hin. Neben der Reduktion in der Muskelaktivität wurde von den Teilnehmenden bei Nutzung eines Exoskelettes während der Ausführung der Arbeitstätigkeit zudem meistens auch eine geringere empfundene Beanspruchung berichtet (Arnoux et al. 2023; Cha et al. 2024; Guittienne & Forestier 2025; Man et al. 2022; Maurice et al. 2023; So et al. 2020; Tetteh et al. 2022). Dabei zeigte sich diese Verringerung in der Beanspruchung nicht nur global, sondern wurde teilweise auch in den Körperregionen wahrgenommen, in denen gleichzeitig eine geringere Muskelaktivität identifiziert wurde, bspw. im Rücken (Reduktion der ES-Muskelaktivität; Maurice et al. 2023; Tetteh et al. 2022) oder in den Armen (Reduktion der AD-Muskelaktivität; Cha et al. 2024). In zwei weiteren Feldstudien berichteten die Teilnehmenden ebenfalls von einem geringeren empfundenen Diskomfort bzw. weniger Schmerzen/Beeinträchtigungen im Nacken und der Schulter zwischen vor und nach der Durchführung eines chirurgischen Eingriffs mit einem Nacken- bzw. Schulter-Exoskelett (Kim et al. 2025; Nutz et al. 2024). Diese Ergebnisse zur subjektiven Beanspruchung unterstützen die Schlussfolgerung, dass die entsprechende Muskulatur in den Körperregionen aufgrund der Unterstützung durch das jeweilige Exoskelett weniger beansprucht wurde. In vereinzelten Fällen zeigten sich allerdings auch gegensätzliche Effekte in der zu unterstützenden Muskulatur bzw. Körperregion bei Nutzung eines Exoskeletts. Shinohara et al. (2024) fanden negative Tendenzen bei einem simulierten chirurgischen Eingriff mit einem Exoskelett für die unteren Extremitäten in Form eines höheren Anstiegs der Schmerzen im Unterschenkel. Miura et al. (2021) wiesen eine geringere empfundene lumbale Ermüdung beim Heben eines Patienten mit einem Rumpf-Exoskelett nach, jedoch keine simultane Reduktion der ES-Muskelaktivität. Abschließend zeigten sich die Effekte auf die Beanspruchung beim Tragen eines Exoskeletts nur bei isolierten Tätigkeiten bzw. über einen kurzen Zeitraum von mehreren Stunden. Bei einem Einsatz über einen kompletten Arbeitstag mit variierenden Tätigkeiten könnte der positive Einfluss auf die muskuläre und subjektive Beanspruchung hingegen stark reduziert werden bzw. ausbleiben (Saurio et al. 2025; Tetteh et al. 2023).

Bei der simulierten Handhabung eines Patienten, u.a. beim Baden, beim Transfer und beim Aufrichten auf einem Krankenbett, zeigte sich bei Nutzung eines Rumpf-Exoskeletts zudem häufig eine erhöhte frontale Rumpfflexion (Chen et al. 2025; Hwang et al. 2021; Maurice et al. 2023). Die Autoren führten dies u.a. auf eine mögliche Bewegungseinschränkung durch die Exoskelett-Strukturen, bspw. durch Anstoßen der Oberschenkelpolster am Krankenbett, zurück (Hwang et al. 2021; Maurice et al. 2023). Diese posturale Anpassung widerspricht jedoch den Erwartungen, da eine stärkere Rumpfflexion das lumbale Gelenkmoment und somit auch die Aktivität und folglich die muskuläre Beanspruchung der Rückenstrecker erhöht (Maurice et al. 2023). Chen et al. (2025) konnten trotz erhöhter Rumpfflexion während der Nutzung eines Rumpf-Exoskelettes allerdings gleichzeitig eine signifikante Reduktion im lumbalen Gelenksflexionsmoment feststellen, was wiederum auf eine geringere mechanische Belastung an diesem Gelenk hindeutet. Demgegenüber berichteten Studien zum Einsatz von Schulter-Exoskeletten bei chirurgischen Eingriffen und Echokardiogrammen von einer reduzierten Armelevation und einer geringeren Dauer in beanspruchenden Schulterhaltungen (Cha et al. 2024; Tetteh et al. 2023). Dies könnte darauf zurückgeführt werden, dass die Teilnehmenden aufgrund von Bewegungseinschränkungen durch die Schultergurte des Exoskeletts näher an ihrer neutralen Schulterhaltung

arbeiteten (Cha et al. 2024). Diese Anpassung könnte allerdings wiederum das potenzielle Risiko eines Impingement-Syndroms durch Kompression der Supraspinatussehne gegen das Acromion senken (Maurice et al. 2023). Ähnliche Effekte zeigten sich beim Einsatz eines Nacken- bzw. Ganzkörper-Exoskeletts während chirurgischer Eingriffe in Form einer reduzierten Zeit in beanspruchenden Rumpf- und Nackenhaltungen (Katsarou et al. 2024; Kim et al. 2025). Insbesondere die Anpassung in der Nackenhaltung wurde auf die Funktionsweise des Exoskeletts zurückgeführt, das den Nutzer bei extremen Flexionswinkeln durch eine voreingestellte Begrenzung physisch warnt (Kim et al. 2025). Insgesamt bleiben die biomechanischen Auswirkungen dieser kinematischen Adaptationen bei Nutzung eines Exoskelettes auf die MSB und die Entwicklung arbeitsbedingter MSE jedoch weiterhin unklar (Maurice et al. 2023).

5. Zusammenfassung und Ausblick

Basierend auf der Literaturrecherche konnten bereits mehrere Labor- und Feldstudien identifiziert werden, in denen der Einsatz von Exoskeletten bei Arbeitstätigkeiten im Gesundheits- und Sozialwesen evaluiert wurde. Das Tragen eines Exoskeletts führte insbesondere bei Tätigkeiten aus der Pflege und bei klinischen Eingriffen im OP-Saal zu einer geringeren muskulären und subjektiven Beanspruchung. Zudem wurden teilweise ergonomisch günstigere Körperhaltungen begünstigt. Diese Effekte implizieren wiederum die biomechanische Wirksamkeit von Exoskeletten in der Reduktion der MSB während der Ausführung von Arbeitstätigkeiten aus dem Gesundheits- und Sozialwesen. Dabei wurden primär Systeme zur Unterstützung des Rumpfes oder der Schulter eingesetzt. Aufgrund der geringen Untersuchungsdauer in den präsentierten Studien (max. ein Arbeitstag) können allerdings bisher keine Aussagen über die präventive Wirksamkeit von Exoskeletten in der Prävalenz von MSE im Gesundheits- und Sozialwesen getroffen werden. Längerfristige Untersuchungen sind daher notwendig.

6. Literatur

Arnoux B, Farr A, Boccara V, Vignais N (2023) Evaluation of a Passive Upper Limb Exoskeleton in Healthcare Workers during a Surgical Instrument Cleaning Task. International Journal of Environmental Research and Public Health 20: 1-12.

Bär M, Steinhilber B, Rieger M, Luger T (2021) The influence of using exoskeletons during occupational tasks on acute physical stress and strain compared to no exoskeleton - A systematic review and meta-analysis. Applied Ergonomics 94: 1-14.

Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW): Branchenauswahl - Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege. Online verfügbar unter https://www.bgw-online.de/bgw-online-de/themen/branchenauswahl, zuletzt geprüft am 02.01.2026.

BAuA, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2025) Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit - Berichtsjahr 2024. Unfallverhütungsbericht Arbeit. Berlin: Bundesministerium für Arbeit und Soziales (Hrsg.).

Cha J, Athanasiadis D, Asadi H, Stefanidis D, Nussbaum M, Yu D (2024) Evaluation of a passive arm-support exoskeleton for surgical team members: Results from live surgeries. Journal of Safety Research 89: 322-330.

Chen Y, Yin W, Zheng L, Mehta R, Zhang X (2025) Biodynamic Modeling and Analysis of Human-Exoskeleton Interactions in Simulated Patient Handling Tasks. Human Factors 0: 1-15.

Clari M, Godono A, Garzaro G, Voglino G, Gualano M, Migliaretti G (2021) Prevalence of musculoskeletal disorders among perioperative nurses: a systematic review and META-analysis. BMC Musculoskeletal Disorders 22: 1-12.

Epstein S, Sparer E, Tran B, Ruan Q, Dennerlein J, Singhal D, Lee B (2018) Prevalence of Work-Related Musculoskeletal Disorders Among Surgeons and Interventionalists: A Systematic Review and Meta-analysis. JAMA Surgery 153: 1-11.

Grieve J, Dickerson C (2008) Overhead work: Identification of evidence-based exposure guidelines. Occupational Ergonomics 8: 53–66.

Guittienne M, Forestier N (2025) Differential effect of three types of exoskeletons and handling height on muscular activity, postural control and perceived effort during simulated bedside mobilization task. Applied Ergonomics 125: 1-12.

Hwang J, Yerriboina V, Ari H, Kim J (2021) Effects of passive back-support exoskeletons on physical demands and usability during patient transfer tasks. Applied Ergonomics 93: 1-9.

Katsarou M, Zwiebel B, Vogler J, Shames M, Thayer A, Chowdhurry R (2024) StemRad MD, An Exoskeleton-Based Radiation Protection System, Reduces Ergonomic Posture Risk Based on a Prospective Observational Study. Journal of Endovascular Therapy 31: 668-674.

Klemm A-K, Meyer B (2025) BKK Gesundheitsreport 2025. Vielfalt und gesunde Arbeit. Berlin: MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

Kim J, Norasi H, Cassivi S, Black D, Hallbeck M (2025) Use of an Intraoperative Head, Neck, and Back Support Exoskeleton on Surgeons' Pain and Posture. Annals of Surgery 284: 184-191.

Man S, Nordin M, Cheng M, Fan S, Lee S, Wong W, So B (2022) Effects of passive exoskeleton on trunk and gluteal muscle activity, spinal and hip kinematics and perceived exertion for physiotherapists in a simulated chair transfer task: A feasibility study. International Journal of Industrial Ergonomics 90: 1-11.

Maurice P, Cuny-Enault F, Ivaldi S (2023) Influence of a passive back support exoskeleton on simulated patient bed bathing: results of an exploratory study. Ergonomics 66: 859-873.

Miura K, Kadone H, Abe T, Koda M, Funayama T, Noguchi H (2021) Successful Use of the Hybrid Assistive Limb for Care Support to Reduce Lumbar Load in a Simulated Patient Transfer. Asian Spine Journal 15: 40–45.

Nutz E, Jarvers J, Theopold J, Kleber C, Osterhoff G (2024) Effect of an upper body exoskeleton for surgeons on postoperative neck, back, and shoulder complaints. Journal of Occupational Health 66: 1-6.

Saurio R, Pekkarinen S, Säynäjäkangas P, Mänttäri S, Rauttola A, Oksa J, Melkas H (2025) Social and health impacts of exoskeleton use on care workers. Work 82: 205-219.

Sauter M, Barthelme J, Müller C, Liebers F (2021) Manual handling of heavy loads and low back pain among different occupational groups: results of the 2018 BIBB/BAuA employment survey. BMC musculoskeletal disorders 22: 1-14.

Shinohara S, Oiwa K, Maeda Y, Takahashi T, Kaneda Y, Sata N (2024) Comparing Mental Strain and Subjective Sensations With and Without a Wearable Chair While Performing Simulated Suturing Tasks. Cureus 16: 1-9.

So B, Cheung H, Liu S, Tang C, Tsoi T, Wu C (2020) The effects of a passive exoskeleton on trunk muscle activity and perceived exertion for experienced auxiliary medical service providers in cardiopulmonary resuscitation chest compression. International Journal of Industrial Ergonomics 76: 1-8.

Tetteh E, Hallbeck M, Mirka G (2022) Effects of passive exoskeleton support on EMG measures of the neck, shoulder and trunk muscles while holding simulated surgical postures and performing a simulated surgical procedure. Applied Ergonomics 100: 1-12.

Tetteh E, Koenig J, Wang T, Cain S, Bremer M, Norasi H (2023) A quantitative assessment of the effects of passive upper extremity exoskeletons on expert cardiovascular sonographers' muscle activity and posture while performing transthoracic echocardiograms (TTE). International Journal of Industrial Ergonomics 94: 1-11.

Zheng L, Sekhar C, Alluri V, Hawke A, Hwang J (2024) Evaluation of a passive back-support exoskeleton during in-bed patient handling tasks. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics 30: 1226-1233.

Zheng L, Sekhar C, Alluri V, Hawke A, Hwang J (2025) Evaluation of a passive back-support exoskeleton in bed-to-chair patient handling tasks. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics 31: 478-485.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege, die dieses Projekt finanziert hat.

Vorhersage menschlicher Bewegungsabläufe aus Körpermaßen – ein konzeptioneller Ansatz zur digitalen Ergonomiebewertung

Daniel KNICKMEIER

Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel
Heinrich-Plett-Straße 40, D-34132 Kassel

Kurzfassung: In der arbeitswissenschaftlichen Gestaltung von Produksystemen besteht ein zunehmendes Interesse an digitalen Methoden, die menschliche Bewegungen realitätsnah abbilden und bewerten können, bevor physische Prototypen entstehen. Diese Arbeit stellt ein konzeptionelles System vor, das individuelle Körpermaße (Anthropometrie) nutzt, um daraus plausible menschliche Bewegungsabläufe zu generieren. Ziel ist es, Arbeitsprozesse bereits in der Planungsphase hinsichtlich Ergonomie, Erreichbarkeit und Belastung zu analysieren – ohne dass reale Tests erforderlich sind.
Die Idee kombiniert biomechanische Simulationsansätze mit datengetriebenen Machine-Learning-Methoden. Durch die Verwendung von Motion-Capture- und Simulationsdaten sollen Modelle entstehen, die Körpermaßvariationen direkt in Bewegungsmuster übersetzen können. Ein solches System könnte Unternehmen und Forschenden ermöglichen, Produktionsschritte virtuell zu evaluieren, ergonomische Risiken frühzeitig zu erkennen und Arbeitsplätze individuell anzupassen. Damit leistet der Ansatz einen Beitrag zur Entwicklung digitaler Menschmodelle, die realistischer, flexibler und besser auf individuelle Unterschiede übertragbar sind.

Schlüsselwörter: Arbeitsplatzgestaltung, Biomechanische Modellierung, Bewegungsprognose, Ergonomische Bewertung, Neuronale Netze

1. Relevanz ergonomischer Arbeitsplatzgestaltung

Ergonomie ist in der Arbeitsgestaltung von zentraler Bedeutung, da sie die systematische Anpassung von Arbeitsmitteln, Arbeitsumgebung und Tätigkeiten an die Fähigkeiten und Eigenschaften des Menschen adressiert. Zieht man die von Pheasant & Haslegrave (2018) beschriebenen Kriterien nutzerzentrierter Gestaltung als Grundlage heran, wird deutlich, dass ergonomisch gestaltete Arbeitssysteme darauf abzielen, eine gute Passung zwischen Mensch und Arbeitsaufgabe herzustellen. Dies umfasst unter anderem die Berücksichtigung von Körpermaßen, Wahrnehmungsfähigkeiten, Bedienbarkeit, Fehlertoleranz sowie langfristigem Nutzungskomfort. Arbeitsplätze, die diesen Prinzipien folgen, ermöglichen eine sichere, verständliche und effiziente Ausführung von Tätigkeiten und reduzieren zugleich unnötige physische und kognitive Belastungen. Ergonomie trägt damit wesentlich dazu bei, dass Arbeit nicht nur ausführbar, sondern dauerhaft nutzbar und an den Menschen angepasst ist.

Die Anthropometrie stellt in diesem Zusammenhang ein zentrales Hilfsmittel dar, da sie eine systematische und zuverlässige Erfassung von Körpermaßen und Proportionen ermöglicht. Durch die Quantifizierung von Längen-, Breiten- und

Umfangsmaßen sowie weiterer körperlicher Merkmale können sowohl absolute Dimensionen als auch interindividuelle Unterschiede beschrieben werden. Diese Informationen bilden eine wesentliche Grundlage für die ergonomische Gestaltung, da sie es erlauben, Arbeitsplätze und Arbeitsmittel an die körperliche Variabilität der Nutzer anzupassen und Bewegungsanforderungen realitätsnah abzuschätzen (Wang et al., 2000).

2. Konzeptioneller Ansatz

Der vorgestellte Ansatz verfolgt das Ziel, menschliche Bewegungsabläufe an Arbeitsplätzen auf Basis anthropometrischer Daten vorherzusagen. Ausgangspunkt ist die Annahme, dass Bewegungen, die zur Ausführung einer konkreten Arbeitsaufgabe erforderlich sind, systematische Zusammenhänge mit den körperlichen Eigenschaften der ausführenden Person aufweisen. Diese Zusammenhänge sollen datengetrieben erlernt und für die Abschätzung von Bewegungen bislang nicht beobachteter Personen nutzbar gemacht werden.

2.1 Erfassung arbeitsplatzspezifischer Bewegungsdaten

Für einen definierten Arbeitsplatz bzw. eine klar abgegrenzte Arbeitsaufgabe führen mehrere Probanden die erforderlichen Tätigkeiten aus. Die Bewegungen werden mittels Motion-Capture-Systemen aufgezeichnet, sodass zeitaufgelöste Gelenkpositionen, Gelenkwinkel oder segmentbasierte Trajektorien des gesamten Körpers erfasst werden. Parallel dazu werden für jeden Probanden anthropometrische Daten erhoben, beispielsweise Körpergröße, Körpergewicht, Segmentlängen sowie Abstände zwischen relevanten Gelenken. Die Kombination aus Bewegungsdaten und individuellen Körpermaßen bildet die Datengrundlage für das nachfolgende Modelltraining.

2.2 Datenaufbereitung und Modellierung

Die Motion-Capture-Daten werden vorverarbeitet, synchronisiert und auf ein konsistentes biomechanisches Skelettmodell abgebildet. Zielgrößen sind dabei die zeitabhängigen Bewegungen einzelner Gelenke oder Körpersegmente. Die anthropometrischen Parameter dienen als Eingangsvariablen für ein neuronales Netz.

Das neuronale Netz wird so trainiert, dass es die beobachteten Gelenkbewegungen aus den zugehörigen anthropometrischen Daten und der definierten Arbeitsaufgabe vorhersagt. Während des Trainings erlernt das Modell implizit biomechanische Beziehungen, etwa kinematische Kopplungen zwischen Gelenken oder typische Bewegungsstrategien, ohne dass diese explizit modelliert werden müssen.

2.3 Vorhersage von Bewegungen für neue Anthropometrien

Nach dem Training kann das Netzwerk für neue, bislang nicht gemessene Personen eingesetzt werden. Werden deren anthropometrische Daten als Input bereitgestellt, gibt das Modell eine Abschätzung der zu erwartenden Gelenkbewegungen für den betrachteten Arbeitsplatz aus. Auf diese Weise lassen sich plausible

Bewegungsabläufe generieren, ohne dass reale Probandenversuche erforderlich sind.

2.4 Einordnung des Ansatzes

Der konzeptionelle Ansatz verbindet empirisch erfasste Bewegungsdaten mit datengetriebener Modellierung. Im Gegensatz zu rein regelbasierten oder generischen digitalen Menschmodellen basiert die Bewegungsvorhersage auf realen, arbeitsplatzspezifischen Bewegungsmustern und berücksichtigt individuelle Körpermaßvariationen explizit. Damit entsteht eine Grundlage für die Abschätzung menschlicher Bewegungen in frühen Planungsphasen oder für Variantenanalysen von Arbeitsplätzen.

3. Methodisches Vorgehen

Das methodische Vorgehen basiert auf der kontrollierten Erfassung menschlicher Bewegungen im Labor und deren Nutzung zur datengetriebenen Modellbildung. Zunächst werden Probanden anthropometrisch vermessen. Erfasst werden grundlegende Körpermaße wie Körpergröße, Körpergewicht, Segmentlängen sowie Abstände zwischen relevanten Gelenken. Diese Daten bilden die individuellen Eingangsparameter für das nachfolgende Modell.

Anschließend führen die Probanden eine einfache, standardisierte Tätigkeit aus, beispielsweise Gehen. Die Bewegungen werden mittels Motion-Capture-Systemen aufgezeichnet, sodass zeitaufgelöste Informationen zu Gelenkpositionen, Gelenkwinkeln oder Segmenttrajektorien vorliegen. Die Wahl einer grundlegenden Bewegung dient dazu, ein konsistentes und vergleichsweise gut verstandenes Bewegungsmuster zu erfassen, das sich für den initialen Modellaufbau eignet.

Die erfassten Bewegungs- und Anthropometriedaten werden aufbereitet und zum Training eines neuronalen Netzes verwendet. Als mögliche Modellansätze kommen unter anderem sequenzbasierte Netzwerke wie rekurrente neuronale Netze oder zeitdiskrete Feedforward-Modelle in Betracht, die anthropometrische Parameter auf Gelenkbewegungen abbilden. Ziel des Trainings ist es, biomechanische Zusammenhänge zwischen Körpermaßen und resultierenden Bewegungsabläufen implizit zu erlernen, ohne diese explizit zu modellieren.

Das vortrainierte Modell kann anschließend für weitere Arbeitsaufgaben nachtrainiert werden, die über das Gehen hinausgehen. Da grundlegende biomechanische Beziehungen und kinematische Kopplungen bereits im Modell repräsentiert sind, wird erwartet, dass eine solche Übertragung mit reduziertem zusätzlichem Trainingsaufwand möglich ist. Damit entsteht ein flexibles Grundmodell, das schrittweise auf unterschiedliche arbeitsplatzspezifische Tätigkeiten erweitert werden kann.

Das gesamte Vorgehen – von der anthropometrischen Erfassung über die Bewegungsaufzeichnung bis hin zu Training und Anwendung des Modells – ist in Abbildung 1 in Form eines Flussdiagramms zusammenfassend dargestellt.

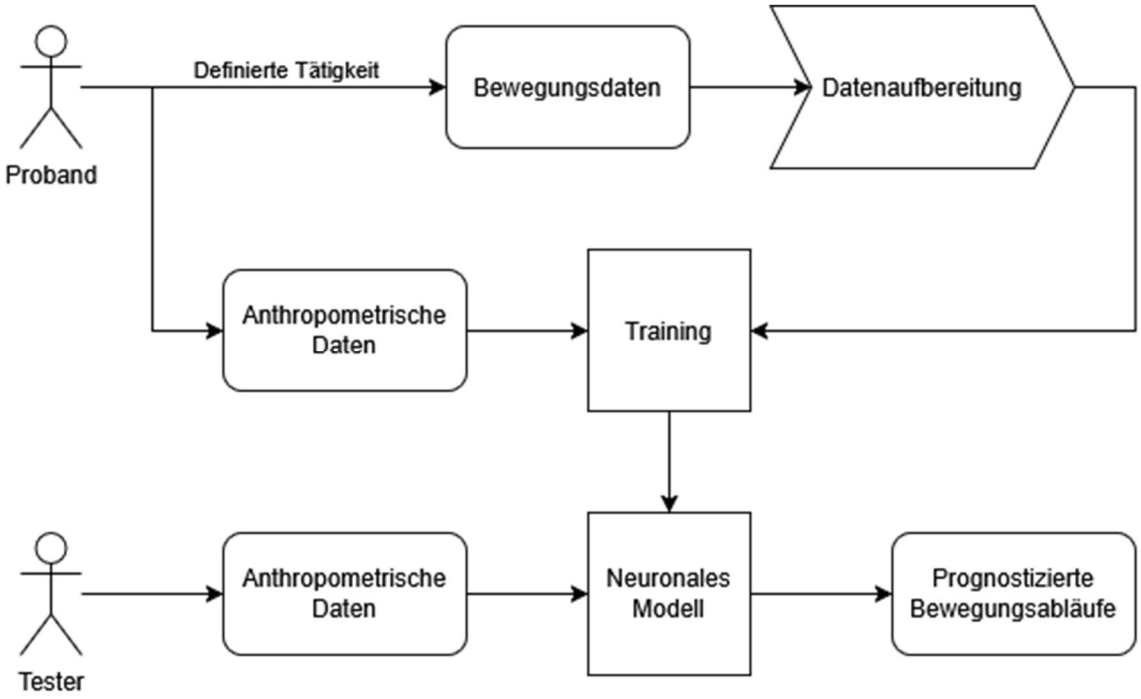


***Abbildung 1**: Workflow zur Bewegungsvorhersage: Anthropometrische Daten und Motion-Capture-Aufnahmen der Probanden werden aufbereitet und zum Training eines neuronalen Netzes genutzt, das Bewegungen für neue Personen vorhersagen kann.*

Die auf diese Weise prognostizierten Bewegungsabläufe können anschließend mithilfe etablierter ergonomischer Bewertungsverfahren, wie beispielsweise dem Ergonomic Assessment Worksheet (EAWS) nach Schaub et al. (2013), analysiert werden, um Rückschlüsse auf die ergonomische Qualität und Belastungsgüte des gestalteten Arbeitsplatzes zu ziehen.

4. Diskussion und Ausblick

Die bisherigen Laborversuche zeigen, dass sich bereits bei einer einfachen, standardisierten Tätigkeit wie dem Gehen deutliche Unterschiede in den Bewegungsabläufen zwischen den Probanden erkennen lassen. Bei der Sichtung der Motion-Capture-Daten werden Variationen in Gelenkwinkeln, Schrittparametern und Bewegungsdynamiken sichtbar, die sich mit den erfassten anthropometrischen Merkmalen der Personen in Zusammenhang bringen lassen. Diese Beobachtungen stützen die grundlegende Annahme des vorgestellten Konzepts, dass Körpermaße einen relevanten Einfluss auf Bewegungsstrategien haben und somit als geeignete Eingangsgrößen für eine datengetriebene Modellierung dienen.

Im nächsten Schritt ist vorgesehen, auf Basis der erhobenen Daten ein neuronales Netz zu trainieren, das diese Zusammenhänge systematisch erlernt. Ziel ist es, die beobachteten Gelenkbewegungen aus den anthropometrischen Parametern der Probanden vorherzusagen und damit erste Aussagen zur Modellgüte und Generalisierbarkeit treffen zu können. Die Ergebnisse dieses Trainings bilden die Grundlage für eine weiterführende Bewertung des Ansatzes.

Perspektivisch soll das Modell schrittweise erweitert und auf weitere Tätigkeiten übertragen werden. Durch das Vortraining mit grundlegenden Bewegungen wie dem Gehen wird erwartet, dass zentrale biomechanische Beziehungen bereits im Modell

repräsentiert sind und für komplexere, arbeitsplatzspezifische Aufgaben genutzt werden können. Zukünftige Arbeiten konzentrieren sich zudem auf die Erweiterung der Datenbasis, die Validierung der Bewegungsvorhersagen sowie die Anwendung des Ansatzes in praxisnahen Planungsszenarien.

5. Literatur

Pheasant, S., & Haslegrave, C. M. (2018). Bodyspace: Anthropometry, ergonomics and the design of work. CRC press.

Schaub, K., Caragnano, G., Britzke, B., & Bruder, R. (2013). The European assembly worksheet. Theoretical Issues in Ergonomics Science, 14(6), 616-639.

Wang, J., Thornton, J. C., Kolesnik, S., & Pierson Jr, R. N. (2000). Anthropometry in body composition: an overview. Annals of the New York Academy of Sciences, 904(1), 317-326.

Aktuelle Aktivitäten um die DIN EN ISO 10075 (Arbeitsbezogene psychische Belastung) und Implikationen für die betriebliche Praxis

Stephan SANDROCK[1], Martin SCHÜTTE[2]

[1] ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V.
Uerdinger Str. 56, D-40474 Düsseldorf
[2] Universität Kassel, Heinrich-Plett-Str. 40, D-34132 Kassel

Kurzfassung: Der Beitrag zeigt Entwicklungen im Bereich der psychischen Belastung und Beanspruchung im Kontext des deutschen Arbeits- und Gesundheitsschutzes auf. Insbesondere werden dabei die Aktivitäten der Ergonomienormung zur psychischen Belastung und Beanspruchung sowie zu den Beanspruchungsfolgen innerhalb der letzten Jahre skizziert. Dabei liegt der Fokus sowohl auf den Begrifflichkeiten und dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept als auch auf der Neuausrichtung des im Jahr 2024 überarbeiteten zweiten Teils der Norm, der für Arbeitsgestalter und weitere Stakeholder in Unternehmen relevante Empfehlungen für die ergonomisch günstige Gestaltung von Arbeitssystemen beinhaltet. Dabei wird gezeigt, dass eine konzeptuelle Unterscheidung der Begriffe Belastung und Beanspruchung weiterhin auch für die Praxis von großer Bedeutung ist.

Schlüsselwörter: Arbeitsgestaltung, Ergonomie, psychische Belastung, psychische Beanspruchung, Normung

1. Einleitung

Arbeit befindet sich immer schon im Wandel. Durch Digitalisierung, Globalisierung und Technisierung vollzieht sich dieser Wandel schneller und hat damit auch entsprechende Auswirkungen auf Tätigkeiten und Anforderungen der Beschäftigten. Dementsprechend ist es wichtig, Arbeit so zu gestalten, dass sie (a) menschengerecht ist, (b) das Wohlergehen der Beschäftigten fördert, (c) die Leistung eines Arbeitssystems verbessert, und (d) zu einer Steigerung der Produktivität beiträgt.

Im Zusammenhang mit dem Arbeits- und Gesundheitsschutz haben Arbeitgeber in Deutschland nach § 5 ArbSchG durch eine Beurteilung der für die Beschäftigten mit ihrer Arbeit verbundenen Gefährdung zu ermitteln, welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes erforderlich sind. Bei dieser sogenannten Gefährdungsbeurteilung hat der Arbeitgeber auch Gefährdungen durch “psychische Belastungen bei der Arbeit” zu ermitteln und zu beurteilen (Beck & Schuller 2025; Junghanns et al 2025; Sandrock 2019). Zu den Maßnahmen des Arbeitsschutzes gehören nach ArbSchG §2 auch Maßnahmen der menschengerechten Gestaltung der Arbeit, womit mögliche gesundheitliche Schädigungen und Beeinträchtigungen bereits frühzeitig vermieden werden sollen. Der Vollständigkeit sei an dieser Stelle erwähnt, dass der Fokus auf eine ausschließlich verhältnisorientierte Ausrichtung von Arbeitssystemen einer humanorientierten Gestaltung von Arbeit nicht gerecht wird (vgl. BAuA 2025). Verhaltensorientierte Maßnahmen wie sie durch Qualifizierung und Unterweisung vermittelt und erworben werden, ermöglichen einerseits, dass Beschäftigte Ihren Aufgaben und den damit

verbundenen Anforderungen entsprechen und andererseits den Arbeitgeber sinnvoll in Arbeitsschutzmaßnahmen unterstützen können (vgl. dazu auch Sandrock & Börkircher 2024).

2. Normung und psychische Belastung

Ein einheitlicher Sprachgebrauch erscheint nicht nur sinnvoll, sondern zwingend erforderlich, da Arbeitgeber und, wo vorhanden, auch die Beschäftigtenvertretungen und weitere Stakeholder in Unternehmen sich mit Gefährdungsbeurteilungen zu beschäftigen haben (vgl. auch Schütte 2022). Eine konzeptuelle Unterscheidung der Begriffe Belastung und Beanspruchung ist für die Praxis von großer Bedeutung, auch wenn die Normenreihe 10075 im ursprünglichen Sinne nicht für die Beurteilung von Arbeitsbedingungen nach dem Arbeitsschutzgesetz konzipiert wurde. Erfahrungen aus der Praxis zeigen regelmäßig, dass eine Kenntnis der Begriffe und Konzepte, die mit psychischer Arbeitsbelastung verbunden sind, für die Betriebe von großer Bedeutung ist, um den Gegenstandsbereich der Gefährdungsbeurteilung inhaltlich einordnen zu können, als Voraussetzung für einen sachbezogenen Austausch zwischen den betrieblichen Akteuren.

2.1 Begriffe und Entwicklungen innerhalb der Normung

Dem 2018 in Deutschland überarbeitet erschienenen ersten Teil der Ergonomienorm 100075-1:2018 liegt das aus der technischen Mechanik stammende Belastungs-Beanspruchungskonzept zugrunde. Die Arbeitswissenschaft hat sich dieses Konzept zunutze gemacht, da es als formales Konzept den Vorteil aufweist, zwischen von außen auf den Menschen einwirkenden Einflüssen und der daraus resultierenden Wirkung im Menschen sowie den daraus entstehenden möglichen Folgen trennen zu können.

Konkret wird psychische Belastung nach der Definition verstanden als Gesamtheit der erfassbaren von außen auf den Menschen einwirkenden Einflüsse. Psychische Beanspruchung ist die daraus innerhalb des Menschen in Abhängigkeit seiner individuellen Merkmale resultierende Wirkung. Beide Konstrukte sind wertneutral und beziehen sich auf eine formale Ursache-Wirkungsbeziehung. Als Folge des Belastungs-Beanspruchungsgefüges können im Individuum Beanspruchungsfolgen auftreten. Hier wird zwischen fördernden (positiv bewerteten) und beeinträchtigenden (negativ bewerteten) und daher zu vermeidenden Beanspruchungsfolgen differenziert.

Nach Expertenworkshops beim Deutschen Institut für Normung (DIN) und zahlreichen fachlichen Diskussionen auch mit internationalen Experten in den entsprechenden Normungsgremien erschien eine Überarbeitung des ursprünglichen Normtextes sinnvoll. Zum Hintergrund der Entwicklung der Normenserie DIN EN ISO 10075 wird an dieser Stelle insbesondere auf den Sammelband von Schütte et al. 2021 hingewiesen. 2017 konnte die Revision des ersten Teils der Normenreihe veröffentlicht werden. Die Norm beinhaltet seitdem auch eine Differenzierung zwischenkurz- und längerfristigen Beanspruchungsfolgen, die im Gremium konsentiert wurden.

Entsprechend wurden Lernen und Kompetenzentwicklung als kurz-, bzw. langfristige förderliche Folgen mit in das Modell aufgenommen.

Als kurzfristige beeinträchtigende Beanspruchungsfolgen beinhaltete die Norm bis dato die psychische Ermüdung und die ermüdungsähnlichen Zustände wie den Monotoniezustand, die herabgesetzte Vigilanz sowie die psychische Sättigung.

Diese beeinträchtigenden Folgen wurden um die Stressreaktion erweitert, die formal als Folge eines negativen Bewertungsprozesses auftreten kann.

Darüber hinaus wurde Burnout als langfristige Beanspruchungsfolge ergänzt. Dabei handelt es sich um eine arbeitsbezogene Befindensbeeinträchtigung, die bei einer langfristig oder wiederholt vorliegenden Einwirkung psychischer Belastung dann eintritt, wenn bereits kurzfristige beeinträchtigende Beanspruchungsfolgen bestehen.

2.2 Entwicklung vom ersten zum (neuen) zweiten Teil der Din EN ISO 10075

Der 1996 veröffentlichte zweite Teil der Normenreihe (DIN EN ISO 10075-2:1996) richtete sich an Hersteller und Betreiber von Arbeitsmitteln und Arbeitssystemen mit dem Ziel der Optimierung (und nicht der Minimierung) der psychischen Belastung.

Basierend auf den negativen kurzfristigen Beanspruchungsfolgen enthielt er Hinweise zu deren Vermeidung. Damit wurden allerdings keine Maßnahmen, die zu positiven Folgen führen können, adäquat berücksichtigt. Zur Entstehung des zweiten Normteils in den 1990er Jahren wird auf Nachreiner (2012) verwiesen.

Im Jahr 2017 fand die turnusmäßige Abfrage zur Revision dieses Normteils statt, der knapp bestätigt und damit als aktueller Stand der Technik angesehen wurde. Möglicherweise war dies darauf zurückzuführen, dass noch nicht alle beteiligten internationalen Normungsinstitutionen die Änderungen der DIN EN ISO 10075-1 zur Kenntnis genommen hatten.

Im Dezember 2018 fand ein weiterer Workshop beim DIN statt, um mit unterschiedlichen Stakeholdern aus Wissenschaft und Praxis über Anpassungen und Änderungswünsche der DIN EN ISO 10075-2:1996 zu diskutieren (Sandrock 2021).

Konsens war, dass durch die Änderung der DIN EN ISO 10075-1 die beiden Normenteile nicht mehr zueinander passten. Bei einer Überarbeitung müssten Inhalt und Struktur des zweiten Teils angepasst werden; dies bezieht sich zum einen auf die längerfristigen Beanspruchungsfolgen, die bislang noch nicht berücksichtigt wurden, und zum anderen auf die Gestaltungaspekte, die zu positiven Beanspruchungseffekten führen können. Weiterhin sollten allfällige begriffliche Unstimmigkeiten angepasst werden.

Da sich die Norm an Arbeitsgestalter richtet, erschien es sinnvoll, zunächst die generelle Aktualität der „Leitsätze“ zu prüfen und weiterhin eine Struktur des Normentextes zu erstellen, die für die Zielgruppe plausibler und in der Folge benutzungsfreundlicher ist.

Damit lag es nahe, sich an den Konventionen der Norm DIN EN ISO 6385 zu orientieren, die als Grundlagennorm der Arbeitssystemgestaltung verstanden werden kann. Auch international konnte Konsens darüber erzielt werden.

Übergeordnete Gestaltungselemente sind danach:

- Arbeitsorganisation
- Arbeitsaufgabe
- Tätigkeit
- Arbeitsmittel und Schnittstellen

Um dem Anspruch gerecht zu werden, eine weitere Verbreitung in der betrieblichen Praxis zu erzielen, wurde für jedes der unter die Gestaltungselemente fallenden Aspekte eine stringente Gliederung gewählt. So beinhaltet die Norm DIN EN ISO 10075-2:2024-12 zu jeder Leitlinie bzw. Gestaltungsempfehlung zusätzlich Begründungen und Beispiele zum besseren Verständnis aus dem Arbeitsleben (s. auch Junghanns et al. 2025). Ein Gestaltungsgrundsatz besteht dabei immer aus den drei Elementen

Begründung, Leitlinie und erläuternden Beispielen. Die Norm enthält ca. 40 Gestaltungsgrundsätze.

Dabei erfolgt zunächst eine Begründung, ob, bzw. warum das Gestaltungelement wichtig ist. Anschließend folgen relevante Leitlinien. Diese sind entsprechend des breiten Anwendungsbereichs der Norm so umfassend wie möglich und so spezifisch wie nötig formuliert. Die Beispiele adressieren neben typisch industrienahen Feldern auch solche aus dem Dienstleistungsbereich oder dem Gesundheitswesen und zeigen damit, dass die Norm branchenübergreifend zum Einsatz kommen kann.

Die Norm stellt damit einen wichtigen Standard dar, der auch mit Handlungshilfen der GDA kompatibel ist bzw. diese ergänzt und damit Eingang in die betriebliche Praxis finden wird.

3. Ausblick

Die Normenreihe 10075 besteht aus drei Teilen. Während die ersten beiden Teile wie beschrieben Hinweise auf Konzepte und Gestaltungshinweise für z. B. Arbeitsgestalter, Ergonomen, Arbeitgeber beinhalten und in den letzten Jahren maßgeblich überarbeitet wurden, richtet sich DIN EN ISO 10075-3:2004 vornehmlich an Entwickler von Verfahren, die psychische Belastung, Beanspruchung oder deren Folgen erheben bzw. messen wollen. Entsprechend beinhaltet dieser bislang eine technisch orientierte Sprache und beinhaltet mehrheitlich Kriterien für quantitative Messungen. Es ist entsprechend zu prüfen, ob z. B. Verfahrenshinweise für qualitative Vorgehensweisen wie Beobachtungen o.ä. zum einen sinnvoll aufzunehmen bzw. konsensfähig wären.

4. Literatur

Beck D, Schuller K (2025) Gefährdungen durch psychische Belastungen - Worum geht es? In: BAuA (Hrsg.) Gefährdungen durch psychische Belastungen bei der Arbeit vermeiden: Gestaltungsanforderungen und -optionen. Berlin: Erich Schmidt Verlag; 11-73.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (2025) https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung, Zugegriffen 09. Dezember 2025.

DIN EN ISO 10075-1:2018-01 Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 1: Allgemeine Aspekte und Konzepte und Begriffe (ISO 10075-1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 10075-1:2017.

DIN EN ISO 10075-2:2024-12 Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 2: Gestaltungsgrundsätze (ISO 10075-2:2024); Deutsche Fassung EN ISO 10075-2:2024.

DIN EN ISO 10075-3:2004-12 Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 3: Grundsätze und Anforderungen an Verfahren zur Messung und Erfassung psychischer Arbeitsbelastung (ISO 10075-3:2004); Deutsche Fassung EN ISO 10075-3:2004.

DIN EN ISO 6385:2016-12 Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen (ISO 6385:2016); Deutsche Fassung EN ISO 6385:2016.

DIN (Hrsg.) (2021) Schütte M et al. (2021) Psychische Belastung und Beanspruchung am Arbeitsplatz. Beuth, Berlin.

Junghanns G, Schütte M, Beck D (2025) Psychische Belastung im Berufsleben erkennen und Arbeit gut gestalten. 1. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. baua: Praxis.

Nachreiner F (2012) Entwicklung und aktuelle Bedeutung der Normenreihe DIN EN ISO 10075. In: Demerouti E, Fergen A, Glaser J, Herbig B, Hofmann A, Nachreiner F, Packebusch L, Sailer K (Hrsg.), Psychische Belastung und Beanspruchung am Arbeitsplatz. Inklusive DIN EN ISO 10075-1 bis -3. Beuth, Berlin, 8-16.

Sandrock S (2019) Psychische Belastung in der Gefährdungsbeurteilung – helfen Standards? Sicherheitsingenieur 02/2019, 12-15.

Sandrock S (2021) Einführung in die DIN EN ISO 10075-1 und Beziehung zur DIN EN ISO 10075-2. In: DIN Deutsches Institut für Normung (Hrsg.) Psychische Belastung und Beanspruchung am Arbeitsplatz. Beuth, Berlin, 9–15.

Sandrock S, Börkircher M (2024) Gefährdungsbeurteilung in Zeiten von Homeoffice und mobiler Arbeit. Betriebliche Prävention 07/08.24, 324-328.

Schütte M (2022) Überlegungen zu den Begriffen Belastungsfolgen, psychische Fehlbelastung und Fehlbeanspruchung, Z. Arb. Wiss. (2022) 76:220–222.

Ergonomie-Normung rund um die Künstliche Intelligenz – Anforderungen und aktueller Stand

Patricia STOCK

Institut für Produkt- und Produktionsmanagement (IPP)
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW Hamburg)
Berliner Tor 21, D-20099 Hamburg

Kurzfassung: KI-Systeme wirken nicht isoliert, sondern stehen stets im Zusammenspiel mit Mensch, Technik und Organisation. Eine rein technische Gestaltung greift daher zu kurz. Die Ergonomie-Normung übernimmt in diesem Kontext eine zentrale Rolle, indem sie arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse in konkrete Gestaltungsanforderungen übersetzt. Sie trägt dazu bei, menschliche Handlungsspielräume, angemessene Kontrolle, Transparenz sowie Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit systematisch zu berücksichtigen und KI-Systeme praxisnah, beherrschbar und menschengerecht auszugestalten. Der Beitrag stellt die Anforderungen an KI-Systeme aus ergonomischer Sicht sowie den aktuellen Stand der Normung vor.

Schlüsselwörter: Künstliche Intelligenz, EU AI Act, Standardisierung, Ergonomie-Normung, Soziotechnische Systemgestaltung

1. Einleitung

Aktuelle Studien zeigen, dass der Einsatz Künstlicher Intelligenz (KI) in Unternehmen stetig zunimmt (z. B. Bitcom 2025, Eurostat 2025, OECD 2025). Diese Entwicklung ist unabhängig von der Unternehmensgröße, wobei derzeit große Unternehmen KI häufiger einsetzen als kleine und mittlere Unternehmen. Im Jahr 2025 setzten in der EU 17 % der kleinen Unternehmen, 30 % der mittleren Unternehmen und 55 % der großen Unternehmen KI ein (Eurostat 2025). Die Einsatzgebiete der KI sind dabei vielfältig, z. B. im Rahmen von Datenanalyse, Entwicklung, Qualitätsmanagement, Produktion oder Kommunikation (Bitcom 2025, Eurostat 2025, OECD 2025).

Damit verändern sie nicht nur technische Abläufe, sondern auch Anforderungen, Handlungsspielräume und Belastungskonstellationen der Beschäftigten. Aus Sicht der Arbeitswissenschaft stellt sich daher die Frage, wie Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit unter den Bedingungen KI-gestützter Arbeitssysteme langfristig gewährleistet werden können. Die Normung spielt hierbei eine zentrale Rolle, da diese maßgeblich darüber entscheiden, wie künftig regulatorische Anforderungen in der Praxis ausgelegt und erfüllt werden und so die Rahmenbedingungen für Gestaltung, Einführung und Betrieb von KI-Systemen schaffen.

2. Anforderungen an ergonomische KI-Systeme

2.1 Anforderungen aus dem AI Act

Mit dem AI Act (Verordnung 2024/1689) hat das Europäische Parlaments am 13.06.2024 das erste Gesetz zur Regulierung von künstlicher Intelligenz (KI) weltweit

erlassen. Ziel dieser Verordnung ist es, die Einführung einer auf den Menschen ausgerichteten und vertrauenswürdigen KI zu fördern, die u. a. den Menschen in Bezug auf Gesundheit, Sicherheit und Grundrechte vor schädlichen Auswirkungen von KI-Systemen schützt.

Dabei wird ein risikobasierter Ansatz verfolgt, der implizit vier Risikokategorien einführt:

- Artikel 5 definiert verbotene Praktiken im KI-Bereich, die in der EU nicht eingesetzt werden dürfen.
- Artikel 8 bis 49 definieren Hochrisiko-KI-Systeme und spezifizieren die Anforderungen, unter denen diese betrieben werden dürfen.
- Artikel 50 definiert Transparenzpflichten für Anbieter und Betreiber bestimmter KI-Systeme, bei denen zwar kein Hochrisiko, aber dennoch ein Täuschungs- oder Irreführungsrisiko für Menschen besteht. In der Literatur werden diese meist als KI-Systeme mit „begrenztem Risiko“ bezeichnet.
- Nicht explizit genannt sind sonstige KI-Systeme mit minimalem Risiko, die keine oder nur vernachlässigbare Risiken für Grundrechte, Sicherheit oder Gesundheit darstellen und für die der AI Act keine Pflichten vorsieht.

Für das Betreiben von Hochsicherheits-KI-Systemen sind hohe Anforderungen zu erfüllen, wie z. B. Einführung eines Risikomanagementsystems, technische Dokumentation, Transparenz, Nachvollziehbarkeit, menschliche Aufsicht, Robustheit. Um die Anforderungen Transparenz, Nachvollziehbarkeit und eine menschliche Aufsicht zu gewährleisten, muss das KI-System als soziotechnisches System verstanden und der Mensch als Teil des Systems explizit mitgedacht werden

2.2 Soziotechnische Gestaltung von KI-Systemen

Die Gestaltung soziotechnischer Systeme orientiert sich am MTO-Konzept, das davon ausgeht, dass die Teilsysteme Mensch (M), Technik (T) und Organisation (O) durch die Arbeitsaufgabe verknüpft sind und aufeinander einwirken (Ulich 2013). Im Sinne einer soziotechnischen Systemgestaltung sind daher Technologieeinsatz und Organisation stets gemeinsam zu planen (Chems 1976, 1987; Ulich 2013).

Soziotechnisches Gestalten von KI-Systemen erfordert, dass sie Arbeitsaufgaben von Menschen in unterschiedlichen Rollen und im Nutzungskontext unterstützen können. Aufgabenspezifisch ergeben sich so z .B. die erforderlichen KI-Funktionen, die Autonomiestufe (der KI), die Mensch-KI-Beziehung und die Schnittstellenmodalitäten. Eine Taxonomie über mögliche Ausprägungen von KI-basierten Arbeitssystemen ist in Niehues et al. (2023) zu finden.

Die menschzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme nach DIN EN ISO 9241-210 (2020) stellt den Menschen in den Mittelpunkt. Übertragen auf ein KI-System bedeutet dies, die Bedürfnisse der Menschen zu erkennen, zu analysieren und daraus KI-Systeme zu gestalten, die den Nutzenden dabei helfen, ihre Aufgabe effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erledigen.

Mensch und KI beeinflussen und verändern sich wechselseitig im Nutzungsprozess. Dies beinhaltet z. B. Veränderungen des Verhaltens des Menschen (siehe z. B. „Ironies of Automation“; Bainbridge 1983), Systemvertrauen des Menschen (siehe z. B. „Trust in Automation“; Lee & See 2004), Belastung und Beanspruchung des Menschen durch die Nutzung des KI-Systems (siehe z. B. DIN EN ISO 10075), Aufschaukelungseffekte durch den Eingriff des Menschen in das KI-System (siehe z. B. Rasmussen 1997). Dies gilt es bei der Gestaltung eines KI-Systems adäquat zu berücksichtigen. Bei vielen genannten Aspekten spielt die Qualifizierung der

Nutzenden, die partizipative Gestaltung sowie ein geeignetes Change Management eine entscheidende Rolle. Daher legt der AI Act in Artikel 4 fest, dass der Betreiber von KI-Systemen Maßnahmen ergreifen muss um sicherzustellen, dass die Personen, „die in ihrem Auftrag mit dem Betrieb und der Nutzung von KI-Systemen befasst sind, über ein ausreichendes Maß an KI-Kompetenz verfügen".

Die soziotechnische Perspektive muss während des kompletten KI-Lebenszyklus betrachtet werden. In jeder Phase des KI-Lebenszyklus wird dabei der Fokus auf spezifische Aspekte des soziotechnischen Systems gelegt (zur Vertiefung z. B. DIN/DKE 2022, Kap. 4.4.2).

3. Die Rolle der Ergonomie-Normung

Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht stellt sich die zentrale Frage, inwieweit ergonomische und menschengerechte Gestaltungsanforderungen im KI-Kontext systematisch berücksichtigt werden kann. Hierbei spielt die Ergonomie-Normung eine zentrale Rolle, da sie dazu beiträgt, dass KI-Systeme nicht nur funktional korrekt, sicher oder rechtskonform sind, sondern menschengerecht und beherrschbar gestaltet werden.

Die abstrakten Anforderungen des AI Acts wie menschliche Aufsicht, Sicherheit und Robustheit werden durch die Ergonomie-Normung in praktisch umsetzbare Gestaltungsprinzipien für KI-basierte Arbeitssysteme überführt. Auf der Ebene der harmonisierten Normen entscheidet sich maßgeblich, ob diese Anforderungen zu tatsächlicher Verbesserung von Arbeitsbedingungen führen oder auf formale Compliance reduziert bleiben. Somit wird die Anwendung ergonomischen Grundsätze und Prinzipien zu einem wesentlichen Gütemerkmal von KI-Systemen.

4. Aktuelle Normungsaktivitäten

4.1 Die Normungsroadmap Künstliche Intelligenz von DIN und DKE

Die Normungsroadmap Künstliche Intelligenz von DIN und DKE (2022) dient als strategischer Orientierungsrahmen für die nationale und internationale Standardisierung von KI. Ziel der Normungsroadmap ist es, bestehende Normungslücken sichtbar zu machen, deutsche Positionen in die europäische und internationale Normung einzubringen und die Anschlussfähigkeit an regulatorische Entwicklungen wie den europäischen AI Act sicherzustellen.

In der zweiten Ausgabe der Normungsroadmap wurde das Themenfeld der soziotechnischen Systeme im KI-Kontext erstmals als eigenständiges Kapitel 4.4 aufgenommen. Hierbei waren auch zahlreiche Experten aus der Ergonomie-Normung beteiligt, um die ergonomische Perspektive adäquat einzubringen. Dies spiegelt sich insbesondere in den identifizierten Normungs- und Standardisierungsbedarfe für soziotechnische Systeme im KI-Kontext wider (DIN/DKE 2022):

- Bedarf 04-01: Berücksichtigung der Dynamik von KI-Systemen bei der Gestaltung von Aufgaben-, Interaktions- und Informationsschnittstellen
- Bedarf 04-02: Berücksichtigung soziotechnischer Aspekte bei der Gestaltung von KI-Systemen
- Bedarf 04-03: Erfüllung des Standardisation Requests zum EU AI Act, Aspekt „Transparenz"
- Bedarf 04-04: Erfüllung des Standardisation Requests zum EU AI Act, Aspekt

„Menschliche Aufsicht“

Insbesondere wurden auch konkrete Normen adressiert, die vor diesem Hintergrund zu prüfen sind (DIN/DKE 2022):

- „Die einschlägigen Normen zur Ergonomie (z. B. DIN EN ISO 6385:2016, DIN EN ISO 26800:2011, DIN-EN-ISO-9241-Reihe, DIN-EN-ISO-10075-Reihe, DIN-EN-614-Reihe, DIN EN 894-1:2009, DIN EN ISO 11064:2011) berücksichtigen die resultierenden Anforderungen aus der soziotechnischen Gestaltung eines KI-Systems i. d. R. noch nicht hinreichend und lassen oft die Wechselwirkungen zwischen Mensch, Technik und Organisation im Zusammenspiel mit KI-Systemen außer Acht. Zudem werden Interaktionskonzepte und Anforderungen an die Informationsdarstellung derzeit nur unzureichend abgebildet für eigendynamische Systeme, für die eine kontinuierliche Aufgabenbearbeitung erforderlich ist und für die Steuerungseingriffe nicht rückgängig gemacht werden können.“
- „Einschlägige Prozessnormen, z. B. für die Gestaltung der Organisation (DIN EN ISO 27500:2017), Qualitätsmanagementsysteme (DIN EN ISO 9000:2015), Umweltmanagementsysteme (DIN EN ISO 14001:2015), Energiemanagementsysteme (DIN EN ISO 50001:2018), Managementsysteme für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (DIN ISO 45001:2018) berücksichtigen die besonderen Anforderungen beim Einsatz von KI-Lösungen meist noch nicht hinreichend und sind daher zu ergänzen, insbesondere im Hinblick auf die soziotechnischen Aspekte.“

DIN und DKE sind derzeit dabei, die identifizierten Normungsbedarfe in ihren Normungsgremien zu prüfen und umzusetzen. Fokus liegt dabei zunächst auf den Normen, die zur Umsetzung des AI Acts unmittelbar liegen.

4.2 KI-Normung

Das ISO/IEC JTC 1/SC 42 „Artificial Intelligence“ (2026) ist das zentrale internationale Normungsgremium für Künstliche Intelligenz auf ISO/IEC-Ebene. Die Aufgabe von ISO/IEC JTC 1/SC 42 besteht darin, grundlegende, horizontal anwendbare KI-Normen zu entwickeln, die unabhängig von Branche oder Anwendung gelten. Die Normen adressieren z.B. Begriffe und Referenzmodelle für KI, Vertrauenswürdigkeit, Transparenz und Erklärbarkeit, Risiko- und Qualitätsmanagement für KI.

Die ISO/IEC 22989 (2022) ist eine grundlegende Norm, die ein einheitliches Begriffsverständnis für Künstliche Intelligenz (KI) schafft. Sie definiert zentrale Begriffe, ordnet unterschiedliche KI-Ansätze systematisch ein und beschreibt grundlegende Konzepte, ohne selbst technische oder regulatorische Anforderungen festzulegen.

4.3 Harmonisierte Normen zur Umsetzung des AI Acts

Harmonisierte Normen werden im Auftrag der Europäischen Kommission von Normungsorganisationen entwickelt und nach ihrer Veröffentlichung im Amtsblatt der EU mit einer besonderen Rechtswirkung versehen. Im KI-Kontext werden die Anforderungen des AI Acts durch harmonisierte Normen konkretisiert: Wendet ein Hersteller oder Betreiber eine solche harmonisierte Norm an, gilt die Vermutungswirkung der Konformität. Es wird davon ausgegangen, dass die entsprechenden Anforderungen des AI Acts erfüllt sind, ohne dass dies im Einzelfall umfassend nachgewiesen werden muss.

Im Zuge der Umsetzung des europäischen AI Acts befindet sich derzeit eine Reihe von Normen in Vorbereitung, die vom technischen Komitee CEN-CENELEC Joint

Technical Committee 21 (JTC 21) „Artificial Intelligence“ koordiniert werden (JTC 21 2026). Ziel ist es, Herstellern und Betreibern praktikable Wege aufzuzeigen, wie die wesentlichen Anforderungen des AI Acts systematisch umgesetzt und nachgewiesen werden können. In der Praxis werden diese Normen damit eine zentrale Rolle für die Konformitätsbewertung und Marktüberwachung spielen.

Im Mittelpunkt der aktuell in Vorbereitung befindlichen AI-Act-Normen stehen die horizontalen Anforderungen für Hochrisiko-KI-Systeme, die für alle Hochrisiko-KI-Systeme gleichermaßen gelten, unabhängig von Branche, Anwendung oder Einsatzkontext. Als erste harmonisierte Norm ist im November 2025 die prEN 18286: „Artificial Intelligence - Quality Management System for EU AI Act Regulatory Purposes“ (adressiert die Anforderungen in Artikel 17 des AI Acts) zur öffentlichen Kommentierung freigegeben worden (JTC 21 2026b). Weitere Normen sollen zeitnah folgen, z. B. zu den Anforderungen Risikomanagement, Cybersecurity, Trustworthiness und menschlichen Aufsicht.

Die öffentliche Kommentierung ist ein zentrales Element des Normungsprozesses und ermöglicht es den interessierten Kreisen, Norm-Entwürfe vor ihrer endgültigen Verabschiedung systematisch zu prüfen, zu verbessern und breiter abzusichern. Die öffentliche Kommentierung öffnet damit den Normungsprozess und bietet z. B. Fachexperten oder Verbänden die Möglichkeit auch ohne eine formale Gremienmitgliedschaft Aspekte einzubringen, die in der Gremienarbeit bislang unterrepräsentiert sind. Die Kommentierung durch externe Experten (also Nicht-Gremienmitglieder) wird von den nationalen Normungsorganisationen koordiniert, in Deutschland über das Norm-Entwurfs-Portal von DIN (2026).

Parallel werden vom JTC 21 regelmäßig weitere Normungsprojekte angestoßen, um auch Themen außerhalb des AI Acts in die Normung einzubinden.

5. Fazit

Die zentrale Herausforderung der KI-Normung besteht darin, zwischen technologischer Dynamik, regulatorischem Anspruch und realer Nutzung in Arbeitssystemen zu vermitteln – und dabei sicherzustellen, dass KI-Normen nicht nur technisch korrekt und rechtssicher, sondern auch praktikabel, ausgewogen und menschengerecht sind. In diesem Kontext ist die Ergonomie-Normung kein ergänzendes „Nice-to-have“, sondern ein zentrales Gestaltungs- und Schutzinstrument, das darüber mitentscheidet, ob KI zu Entlastung, Kompetenzentwicklung und guter Arbeit beiträgt oder zu neuen Risiken für Sicherheit, Gesundheit und Autonomie der Beschäftigten führt.

Die laufenden Normungsprozesse auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene sind daher von hoher arbeitswissenschaftlicher Relevanz. Vor diesem Hintergrund ist eine aktive Beteiligung der Arbeitswissenschaft an der KI-Normung dringend erforderlich. Arbeitswissenschaftliche Expertise wird benötigt, um z. B. ergonomische Schutzziele, Kriterien zur Bewertung der Belastung, Anforderungen an menschliche Kontrolle sowie Aspekte der Kompetenz- und Arbeitsgestaltung systematisch einzubringen. Die Mitarbeit in Normungsgremien – etwa bei DIN, DKE, auf europäischer Ebene bei CEN/CENELEC oder international bei ISO – bietet hierfür eine zentrale Gestaltungsplattform.

6. Literatur

AI Act (2024) Verordnung (EU) 2024/1689 des europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Festlegung harmonisierter Vorschriften für künstliche Intelligenz. Accessed January 16, 2026. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202401689

Bainbridge L (1983) Ironies of Automation. Automatica 19(6):775-779

Bitcom Research (2025) KI in der deutschen Wirtschaft. Status Quo und Ausblick. Accessed January 16, 2026. https://www.bitkom.org/sites/main/files/2025-09/bitkom-pressekonferenz-ki-unternehmen-charts_1.pdf

Cherns A (1976) The Principles of Sociotechnical Design. Human Relations 29(8):783-792

Cherns A (1987) Principles of sociotechnical design revisted. Human Relations, 40(3):153-161

DIN (2026) Norm-Entwurfs-Portal. Accessed January 16, 2026. https://www.din.de/de/mitwirken/entwuerfe

DIN/DKE (2022) Deutsche Normungsroadmap Künstliche Intelligenz, Ausgabe 2. Accessed January 16, 2026. https://www.din.de/resource/blob/916792/20bf33d405710a703aa26f81362493bb/nrm-ki-deutsch-2022-final-web-250-data.pdf.

DIN EN ISO 9241-210:2020, Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Menschzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme (ISO 9241-210:2019)

Eurostat (2025) Use of artificial intelligence in enterprises. Accessed January 16, 2026. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Use_of_artificial_intelligence_in_enterprises

Niehues S, Sandrock S, Shahinfar F, Schüth NJ, Conrad R (2023). Gestaltung eines KI-Arbeitssystems. In: Stowasser S. (eds) Künstliche Intelligenz (KI) und Arbeit. ifaa-Edition. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg

ISO/IEC 22989 (2022) Information technology — Artificial intelligence — Artificial intelligence concepts and terminology

ISO/IEC JTC 1/SC 42 on Artificial Intelligence (2026). Accessed January 16, 2026. https://www.iso.org/committee/6794475.html

JTC 21, CEN-CENELEC Joint Technical Committee 21 on Artificial Intelligence (2026). Accessed January 16, 2026. https://jtc21.eu/about/

JTC 21, CEN-CENELEC Joint Technical Committee 21 on Artificial Intelligence (2026b) prEN 18286 Reaches Enquiry Stage: A Milestone for AI Quality Management in Europe. Accessed January 16, 2026. https://jtc21.eu/pren-18286-reaches-enquiry-stage-a-milestone-for-ai-quality-management-in-europe/

Lee JD, See KA (2004) Trust in Automation: Designing for Appropriate Reliance. Human Factors 46(1):50-80

OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development (2025) AI adoption by small and medium-sized enterprises. OECD discussion paper for the G7. Accessed January 16, 2026. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/12/ai-adoption-by-small-and-medium-sized-enterprises_9c48eae6/426399c1-en.pdf.

Rasmussen J (1997) Risk management in a dynamic society: a modelling problem. Safety Science 27(2-3):183-213

Ulich E (2013) Arbeitssysteme als Soziotechnische Systeme – eine Erinnerung. Journal Psychologie des Alltagshandelns / Psychology of Everyday Activity 6(1):4-12

Aspekte der Ergonomie Normung in Österreich – Tradition und Aktuelles

Michael WICHTL

Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Ergonomie
Vienna Twin Towers, Wienerbergstraße 11, A-1100 Wien

Kurzfassung: Traditionell hat sich die österreichische Normung für Ergonomie und Arbeitswissenschaften an den Resultaten Deutscher Fachnormen zum Thema orientiert. Die erste Fachnorm dazu wurde Anfang März 1977 als ÖNORM A 8000 herausgegeben. Bemerkenswert ist, dass jedoch spezielle, eigenständige fachlich interessante Normen Produkte im Laufe der Jahre entwickelt wurden, allen voran die ÖNORM A 8010 „Ergonomische Gestaltung von Büroflächen“. Die europäischen und internationalen Erfordernisse im Normungsbereich haben für die österreichische Ergonomie Normung auch entsprechende Anforderungen gehabt, die nicht immer optimal erfüllt werden konnten. Mit Reaktivierung der österreichischen Arbeitsgemeinschaft für Ergonomie (ÖAE) und auch den Aktivitäten des Fachbereich Ergonomie der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt (AUVA) im Normungsbereich konnte die Situation sukzessive verbessert werden, sodass nunmehr eine sehr gut funktionierende Normungsarbeit für Ergonomie und Arbeitswissenschaft besteht.

Schlüsselwörter: Österreichische Ergonomienormung, Büroflächengestaltung, Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Ergonomie, Sozio-technische Systemgestaltung (STS)

1. Die erste Phase Österreichischer Ergonomienormung

Während das österreichische Normungsinstitut bereits 1920 gegründet wurde, entwickelten sich spezifische Fachnormenausschüsse (FNAs) wie der FNA 160 Ergonomie auf Basis des Normengesetzes 1971 in den Jahren danach. Dies geschah im Wesentlichen parallel zur Gründung des deutschen Fachnormenausschusses Ergonomie im Jahr 1970 lediglich wenige Jahre danach. Im März 1977 wurde schließlich die Ergonomie Grundlagen Norm A 8000 Gestalten von Arbeitssystemen nach arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen, Begriffe und allgemeine Leitsätze herausgegeben. Sie war praktisch inhaltsgleich mit DIN 33400 und war zweifellos der Startpunkt aller weiteren normativen Entwicklungen in Österreich.

Der Autor begann seine Mitarbeit in diesem FNA 160 als Ergonom in der Präventionsabteilung der österreichischen Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt (AUVA) im Jahr 1986. Er kann bestätigen, dass die Zielsetzung „gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse über die menschengerechte Gestaltung der Arbeit“ gewissenhaft in mehreren Fachnormen umzusetzen, im FNA gut vorangetrieben wurde, wie gesagt weitgehend parallel zu Aktivitäten des damaligen deutschen Ergonomie Normen Ausschusses. Es darf auch erwähnt sein, dass die österreichische Sozialpartnerschaft bereits damals gut funktioniert, da sowohl Arbeitnehmervertreter (Österreichische Arbeiterkammer) als auch Arbeitgebervertretung

(Wirtschaftskammer Österreich) aktiv und Kooperationsbereit vertreten waren. Im speziellen angemerkt sei, das Prof. Dr. Peter Köck, einer der Lehrer für die arbeitswissenschaftliche Ausbildung des Autors, als hochrangiger Vertreter der Wirtschaftskammer in der Ergonomie Normung mitarbeitete.

2. Österreichische Ergonomie Normungsspezialitäten

Von Prof. Dr. Peter Köck angeregt wurde ca. 1987 in einem gemischt Deutsch-Österreichischen Normungsgremien begonnen, eine neue Norm zur Gestaltung und Planung ergonomischer Büroflächen zu erstellen. Während nach etlichen Diskussionen für Deutschland das Projekt an der Konkurrenz und Abgrenzung zur DIN 4543-1 (nunmehr zurückgezogen), Flächen für die Aufstellung und Benutzung von Büromöbeln, Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung scheiterte, existiert die damals entstandene ÖNORM A 8010 Ergonomische Gestaltung von Büroarbeitsplätzen (1993-01-01) in überarbeiteter Form heute noch.

Die erste Ausgabe der ÖNORM A 8010 (1993) war ein praxisorientier Leitfaden zur ergonomischen Gestaltung von Büroarbeitsplätzen, der

- Empfehlungen für Planung und Bewertung von Büroarbeitsplätzen enthielt
- Ergonomische Flächenermittlung und Arbeitsgestaltung regelte
- Praxisnahe Beispiele für Formblätter bereitstellte

Schließlich kam es ab ca. 2002 zu einer Überarbeitung der ÖNORM A 8010, bei der in weiterer Folge der Autor die Leitung des Ausschusses übernahm.

Die überarbeitete ÖNORM A 8010, erscheinen am 2010-07-15, war wesentlich modernisiert und enthielt wichtige Aspekte moderner (zukunftsorientierter) Büro-planung. Ausgegangen wurde zentriert im Sinne einer körpermaßgerechten Planung von einem dreidimensionalen Körpermodul mit Angabe von Wirkräumen.

Die neue ÖNORM A 8010 „Ergonomische Gestaltung von Büroarbeitsplätzen – Grundsätzliche Einflussfaktoren und Ermittlung des Flächenbedarfs“ war damit ein Standard mit starker Betonung arbeitssystembezogener Einflussfaktoren für Büroarbeit und einer Anleitung zur systematischen Ermittlung von Flächen.

Dieses Normungsbeispiel zeigt den guten Praxisbezug der österreichischen Ergonomie Normung. Zahlreich Praxisseminare unter anderem gemeinsam mit Büromöbelanbietern wurden erfolgreich durchgeführt, um einen guten Praxistransfer für das Normenprodukt in Nutzerkreisen sicherzustellen.

Ein interessantes Beispiel für die Bedeutung der Umsetzung im betrieblichen Kontext und in der Prävention ist die ehemalige ÖNORM A 8070 „Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung“, die zwar normenseitig zugunsten der ÖNORM EN 27243 (1994-02-01) „Warmes Umgebungsklima, Ermittlung der Wärmebelastung des arbeitenden Menschen mit dem WBGT-Index ersetzt wurde, aber im österreichischen Gesetzesbereich weiter zur Einstufung nach dem sogenannten Nachtschwerarbeitsgesetz NSchG mit dem Erschwernisfaktor Hitzebelastung unter Verwendung der Effektivtemperatur herangezogen wird.

Zum Thema Büroergonomie und Bürogestaltung wurden begleitend dazu zwei im Springer-Verlag erschienene Bücher „Der Mensch am Bildschirmarbeitsplatz“ (1995) und „Trends der Bildschirmarbeit“ (2001) herausgegeben. Die darin enthaltenen Beiträge des Autors dienten der Bekanntmachung der neuen und heute immer noch bedeutsamen und weiter in Entwicklung befindlichen Normenserie EN ISO 9241-XXX und war ein wesentlicher Schritt, dem Fachpublikum diese internationalen Fachnormen nahzubringen.

3. Europäische und internationale Fachnormen

Die ab etwa 1990 in recht großer Zahl und zur Übernahme durch den jeweiligen nationalen Normenträger bereitstehenden europäischen und internationalen Ergonomie Normen des CEN TC 122 und des ISO/TC 159 Ergonomics stellten das österreichische Ergonomie Komitee vor recht große Herausforderungen. Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass diese Phase auch in eine Zeit starker Änderungen beim Normungsträger, jetzt Austrian Standards Institute (ASI) fiel. Das Ergonomie Komitee wurde in ein sehr großes Komitee ASI/K 052 integriert, welches sich schwerpunktmäßig mit klassischer Sicherheitstechnik mit vielen Teilbereichen (Arbeitsschutzkleidung, Leitern, etc.) aber auch mit Aspekten der Sicherheit bei Nanopartikeln, mit Normungswesen für Arbeitsschutzmanagement bis hin zu Fachnormen für Ergonomie und Arbeitswissenschaft beschäftigt. Dabei waren bzw. sind etliche CEN bzw. ISO TCs zu spiegeln und Fachexperten in diesem großen Ausschuss müssen sich stark fokussieren, was primär zu Beginn dieser Struktur zu einer Ausdünnung der Kapazität für Ergonomie führte. Typisch dafür war und ist der Effekt, dass viele in Abstimmung befindliche internationale Ergonomie Normen einfach mit Stimmenthaltung seitens Österreichs weitergeleitet wurden.

4. Aktuelle Entwicklungen – neues der österreichischen Ergonomienormung

Um die Situation zu verbessern, mussten Strukturen geschaffen werden, um Ergonomie und Arbeitswissenschaft im Normungsbereich besser zur repräsentieren. An dieser Stelle gebührt der Dank der Abteilung für Prävention der AUVA. Zum einen wurde der Fachbereich Ergonomie ab ca. 2005 sukzessive deutlich gestärkt, was zumindest indirekt dem Normungswesen auch zu Gute kam. Weitere Maßnahmen waren:

- Wiederaufbau der Österreichischen Arbeitsgemeinschaft für Ergonomie (ÖAE)
- Analyse vorhandener universitärer und fachhochschulischer Ausbildungsmöglichkeiten für Ergonomie und Arbeitswissenschaften im Rahmen eines von der AUVA finanzierten Projekts mit dem Ziel, Defizite aufzudecken und an deren Aufarbeitung zu gehen.

4.1 Die österreichische Arbeitsgemeinschaft für Ergonomie (ÖAE)

2012 wurde der Vereinssitz der ÖAE bei der Hauptstelle der AUVA eingerichtet. Es konstituierte sich ein neuer Vereinsvorstand und der Autor wurde mit der Geschäftsführung betraut. Die Zielsetzung der ÖAE, Inhalte der Arbeitswissenschaft zu schulen, zu verbreiten und zu vernetzen wurden sukzessive umgesetzt und dabei ein Mitgliederstand von ungefähr 50 Personen erreicht.

Schwerpunktaktivitäten waren und sind:

- Aufbau und Pflege der Webpage (www.oeae.at)
- Fachveranstaltungen (insbesondere das Ergonomie Forum Wien und Tirol)
- Kooperation mit dem Forum Prävention der AUVA
- Mitarbeit in der Ergonomie Fachnormung
- Internationale Kontakte mit den Fachgesellschaften anderer europäischer Länder (z. B. GfA, MET-Ungarn) und mit IEA und FEES

In den letzten Jahren regelmäßig wurde beispielsweise gemeinsam mit der ungarischen Ergonomie Gesellschaft MET die sogenannte Sommeruniversität für

Ergonomie abgehalten und damit dieser Veranstaltung verstärkt ein internationaler Charakter gegeben. Beispielsweise wurden durch diese Aktivitäten auch ungarische Ergonomen über die Bedeutung europäischer und internationaler Normen des Fachbereichs verstärkt informiert, was unter anderem dazu führte, dass diese jetzt ebenfalls in CEN und ISO Arbeitsgruppen mitarbeiten.

5. Aktuelle Situation und Normungsaktivitäten

Ein Anliegen der ÖAE ist es, bei der Umsetzung ergonomischer Arbeitsgestaltung systemisch vorzugehen und ein solches Vorgehen auf allen Ebenen der Gestaltung und mit gutem Praxisbezug voranzutreiben. Das bedeutet, dass aktuelle Fachnormen verstärkt zur Umsetzung eines systemischen Vorgehens herangezogen werden (siehe dazu „Umrisse des Wiener Ansatzes zur soziotechnischen Systemgestaltung“ Wichtl, Winker, Kviecien, Frühjahrskonferenz Aachen 2025).

Heruntergebrochen auf die Praxisarbeit im Fachkomitee Ergonomie des ASI konnte dafür beispielweise folgendes erreicht werden:
Die Mensch-Computer Interaktion ist ein wesentliches Element moderner, systemischer Arbeitsgestaltung. Für diesen wichtigen Bereich konnte ein Arbeitskreis 052.66 geschaffen werden und ein fachkundiger Vorsitzender für diese Arbeit gefunden werden. Resultat ist, dass insbesondere die Drafts und Entwürfe der Normenserie ISO 9241-XXX gut bearbeitet, kommentiert und verbreitet werden. Außerdem ist dadurch im Sinne systemischen Arbeitens ein guter Brückenschlag zu IT und Useability Experten gelungen, die für diesen Teilbereich der Ergonomie unerlässlich sind.

Abschließend soll erwähnt werden, dass die Arbeit in den internationalen Normungsgremien der Ergonomie ebenfalls wieder aktiv aufgenommen werden. Der Autor ist Mitarbeiter im CEN TC 122, insbesondere in der Arbeitsgruppe WG 2, die sich mit der Aufarbeitung der Ergonomie Grundlagennormen beschäftigt. Konkret geht es im Moment um die Überarbeitung der EN 614-1 und Anpassung an die neue europäische Maschinenverordnung, die Anfang 2027 endgültig in Kraft tritt und die besonderen Anforderungen an die ergonomische Systemgestaltung betreffend die Berücksichtigung von Maschinenintelligenz (z.B. autonome Systeme) enthält.

6. Diskussion

Der Beitrag zeigt die Entwicklung der Ergonomie Normung in Österreich auf. Dabei wird auf wichtige Meilensteine hingewiesen und auf bemerkenswerte Spezialitäten, insbesondere die ÖNORM A 8010 „Ergonomische Gestaltung von Büroarbeitsplätzen – Grundsätzliche Einflussfaktoren und Ermittlung des Flächenbedarfs“. Er zeigt auch auf, wie in Österreich als relativ kleines Land mit beschränkten Ressourcen an Fachexperten mit einer Fülle internationaler und europäischer Fachnormenprojekte doch aktiv und praxiswirksam an der Erarbeitung und Umsetzung der Ergonomie Normung mitgearbeitet werden kann.

7. Literatur

ÖNORM A 8010 (2010-07-15) Austrian Standards Institute/Österreichisches Normungsinstitut Ergonomische Gestaltung von Büroarbeitsplätzen - Grundsätzliche Einflussfaktoren und Ermittlung des Flächenbedarfs

ÖNORM A 8010 (1993-01-01) Österreichisches Normungsinstitut Ergonomische Gestaltung von Büroarbeitsplätzen (zurückgezogen)

ÖNORM A 8000 Österreichisches Normungsinstitut (1977-03-01) Gestalten von Arbeitssystemen nach arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen (zurückgezogen)

Verordnung (EU) 2023/1230 des europäischen Parlaments und des Rates über Maschinen (Maschinenverordnung)

KAN (Kommission für Arbeitsschutz und Normung) (2001) Leitfaden zur Behandlung ergonomischer Aspekte in der Normung

Stowasser S, et. al. 50 Jahre DIN-Normenausschuss Ergonomie: Für menschengerechte Arbeitsgestaltung

Wichtl M, Winker N, Kviecien H (2025) Umrisse des Wiener Ansatzes zur soziotechnischen Systemgestaltung. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Frühjahrskonferenz Aachen

Wichtl M (2001) Normenwerte mit Relevanz für Bildschirmarbeit. In: Trends der Bildschirmarbeit (Hrsg. Blaha). Wien: Springer-Verlag

Wichtl M (1995) Normen gewinnen an Bedeutung. In: Der Mensch am Bildschirmarbeitsplatz (Hrsg. Blaha). Wien: Springer-Verlag

Kühlwesten im Einsatz gegen arbeitsbedingte Hitzebelastung: Ergebnisse einer Feldstudie im urbanen Lieferdienst

Elisabeth IBENTHAL, Rolf ELLEGAST

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung e. V. (IFA)
Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

Kurzfassung: In der vorliegenden Feldstudie wurde die Effektivität und Akzeptanz einer hybriden Kühlweste bei neun Kurierfahrenden von Schnelllieferdiensten untersucht. An zwei Sommertagen (ein Tag mit Kühlweste, ein Tag ohne Kühlweste) wurden physiologische Parameter (Haut- und Körperkerntemperatur, Herzfrequenz) sowie subjektive Bewertungen (thermischer Komfort, Belastungsempfinden, Akzeptanz) bei den Kurierfahrenden erhoben. Mit Kühlweste war die durchschnittliche Hauttemperatur signifikant niedriger (mit Kühlweste: 33,2°C ± 1,1°C, ohne Kühlweste: 33,9 °C ± 1,4°C; p = 0,047), während Effekte auf Körperkerntemperatur und Herzfrequenz ausblieben. Die Kühldauer betrug durchschnittlich 63 Minuten. Die Akzeptanz der Kühlweste war hoch, jedoch wurde das Gewicht der Kühlweste kritisch bewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass Kühlwesten eine praktikable Maßnahme im betrieblichen Hitzeschutz darstellen können. Weitere Studien mit größeren Stichproben und unter extremeren Temperaturbedingungen sind erforderlich.

Schlüsselwörter: Klimawandel, Hitzestress, physische Belastung, Rider, Kurierfahrende

1. Situation

Arbeiten bei hohen Außentemperaturen stellt ein erhebliches Gesundheits- und Sicherheitsrisiko dar, das sich infolge des Klimawandels weiter verschärft. In Deutschland hat sich die Zahl der Hitzetage mit Temperaturen über 30°C seit den 1950er Jahren mehr als verdoppelt (Deutsches Klima Konsortium 2023); die Tendenz ist steigend. Damit sind Beschäftigte, die körperlich anstrengende Tätigkeiten im Freien verrichten, zunehmend höheren thermischen Belastungen ausgesetzt. Neben akuten Gesundheitsgefahren wie Hitzekrämpfen, Hitzekollaps oder Sonnenstich führen hohe Außentemperaturen zu einer verminderten Leistungsfähigkeit und reduzierter Aufmerksamkeit, was die Arbeitssicherheit beeinträchtigt und die Unfallwahrscheinlichkeit erhöht (Fatima et al. 2021).

Kühlwesten werden als eine vielversprechende Maßnahme zur Reduktion der physischen Belastung bei Hitze diskutiert. Sie werden über der (Arbeits-)Kleidung getragen und nutzen unterschiedliche Kühlmechanismen, um eine Überhitzung des Körpers zu verhindern. Besonders hybride Kühlwesten haben sich in Laborstudien als effektiv erwiesen. Sie kombinieren die Verdunstungskühlung durch Befeuchtung der Kühlweste mit der Anwendung eines Phasenwechselmaterials in Form von Kühlpacks (Ciuha et al. 2021).

Unter kontrollierten Laborbedingungen zeigten Kühlwesten positive Effekte auf die Hauttemperatur und den thermischen Komfort der Träger und Trägerinnen (Morrissey-Basler et al. 2023). Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf reale Arbeitsbedingungen

ist jedoch begrenzt, da dort klimatische Bedingungen wie Wind, Sonneneinstrahlung und Luftfeuchtigkeit stärker variieren und die Kühlleistung der Kühlweste beeinflussen. Ziel dieser Studie war es daher, die Effektivität und Akzeptanz einer hybriden Kühlweste unter realen Arbeitsbedingungen im Schnelllieferdienst zu untersuchen. Einer Branche, in der Beschäftigte während Hitzeperioden deutliche Leistungseinschränkungen erfahren (Dehl et al. 2024).

2. Methode

Die Feldstudie wurde mit neun Kurierfahrenden (7 Männer, 2 Frauen; Alter: 29 Jahre ± 7 Jahre) durchgeführt, die Mahlzeiten und Lebensmittel in Berlin, Köln und Bonn auslieferten. Für die Auslieferung nutzten 7 Kurierfahrende ein E-Bike und 2 Kurierfahrende ein herkömmliches Fahrrad.

Abbildung 1: *Kurierfahrerin mit Kühlweste und herkömmlichen Fahrrad (links) und Core-Sensor und Brustgurt zur Messung der Herzfrequenz und Haut- und Körperkerntemperatur (rechts).*

An einem Sommertag (> 25°C) trugen die Teilnehmenden eine hybride Kühlweste, die im befeuchteten Zustand etwa 1,8 kg wiegt (s. Abbildung 1, links). An einem weiteren vergleichbaren Sommertag arbeiteten die Kurierfahrenden ohne Kühlweste. Während beider Arbeitstage wurden die Haut- und Körperkerntemperatur der Kurierfahrenden sowie ihre Herzfrequenz kontinuierlich mit einem Brustgurt (HRM-Pro) und dazugehörigem Sensor (CORE) des Herstellers Garmin erfasst (s. Abbildung 1, rechts) und mit einer Smartwatch (Garmin Forerunner 965) aufgezeichnet (Abtastrate 1 Hz). Die Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) wurde als Maß für die thermische Belastung mit einem Thermohygrometer an einem stationären Standort in 5-Minuten-Intervallen gemessen. Vor Arbeitsbeginn wurden bei den Kurierfahrenden im Sitzen (10 min) die Ruhewerte der physiologischen Parameter erfasst. Nach der Arbeit bewerteten die Teilnehmenden die Kühlweste anhand des BGW-Fragebogens zur Gebrauchstauglichkeit (Skala 0 bis 100 Punkte), den thermischen Komfort mit der ASHRAE-Skala (Skala -3 bis 3) und das subjektive Belastungsempfinden mit der BORG-CR10-Skala (Skala 0 bis 10) (BGW 2019; Borg 1998; ASHRAE 2020). Ergänzend wurden Freitextkommentare zu den positiven und negativen Erfahrungen mit der Kühlweste erhoben.

Die Auswertung umfasste deskriptive Analysen der WBGT, der Fragebogen-Daten und der physiologischen Parameter. Die physiologischen Parameter wurden entsprechend der Grenzwerte in Tabelle 1 bewertet. Dazu wurde aus der Herzfrequenz die

Arbeitsherzfrequenz berechnet (HF_{Arbeit} = HF-HF_{Ruhe}) und über die gesamte Arbeitsschicht gemittelt. Zur Prüfung signifikanter Unterschiede zwischen den Bedingungen mit und ohne Kühlweste wurden t-Tests für verbundene Stichproben (α = 0,05) sowie Effektstärken nach Cohen's *d* berechnet. Die Freitextantworten wurden mittels qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring (2019) ausgewertet.

Tabelle 1: *Bewertungsbereiche der physiologischen Parameter (Weber et al. 2020; Glitz et al. 2022; Hartmann et al. 2013; American College of Sports et al. 2007).*

Belastung / Risiko			**gering**	**leicht erhöht**	**wesentlich erhöht**	**hoch**	**extrem**
Mess-parameter	**Arbeitsherzfrequenz** (HF_{Arbeit})	bpm	< 15	15-24	25-34	≥ 35	
	Hauttemperatur (T_{skin})	°C	32,0-36,0			< 32,0 > 36,0	
	Körperkerntemperatur (T_{core})		35,0-38,5			< 35,0 > 38,5	
	Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)		< 18	18-23		23-28	> 28

3. Ergebnisse

Die durchschnittliche Messdauer betrug ohne Kühlweste 3 h 01 min und mit Kühlweste 2 h 41 min. Ohne Kühlweste legten die Teilnehmenden im Mittel 27 km und 105 Höhenmeter zurück, mit Kühlweste 26 km und 110 Höhenmeter. Die Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) lag überwiegend im hohen Risikobereich. Einzelne Werte erreichten wesentlich erhöhte oder extreme Risikobereiche. Zwischen den beiden Messtagen bestanden keine signifikanten Unterschiede (ohne Kühlweste: 25,4 °C ± 2,3°C; mit Kühlweste: 24,9 °C ± 2,3°C; p = 0,707).

Auf die Hauttemperatur hatte die Kühlweste einen signifikanten Einfluss. Mit Kühlweste lag die Hauttemperatur der Kurierfahrenden während 63 % ± 41 % ihrer Arbeitszeit unter dem Ruhewert, ohne Kühlweste nur während 22 % ± 31 % der Arbeitszeit (p = 0,025; d = 0,916). Auch die über die Arbeitszeit gemittelte Hauttemperatur war mit Kühlweste (33,2 °C ± 1,1°C) signifikant niedriger als ohne Kühlweste (33,9 °C ± 1,4 °C, p = 0,047; d = 0,681), lag im Mittel aber an beiden Arbeitstagen im geringen Belastungsbereich. Die Körperkerntemperatur lag ebenfalls im geringen Belastungsbereich und unterschied sich nicht signifikant zwischen den Arbeitstagen mit (37,2 °C ± 0,2°C) und ohne Kühlweste (37,2 °C ± 0,3°C, p = 0,905). Die Arbeitsherzfrequenz lag an beiden Arbeitstagen im leicht erhöhten Belastungsbereich (mit Kühlweste: 21 bpm ± 16 bpm, ohne Kühlweste: 18 bpm ± 10 bpm). Die durchschnittliche Kühldauer betrug 63 Minuten, variierte jedoch stark (0 - 179 Minuten).

Im BGW-Fragebogen erzielte die Kühlweste einen hohen Akzeptanzwert von 74 ± 19 Punkten und gilt damit als „sehr geeignet". Der thermische Komfort war mit Kühlweste tendenziell behaglicher (0,9 ± 1,2) als ohne Kühlweste (1,8 ± 0,6 mit 0 = behaglich). Das subjektive Belastungsempfinden blieb vergleichbar zwischen den Arbeitstagen mit (3,6 ± 1,3) und ohne Kühlweste (3,8 ± 1,9). In den Freitextantworten wurden vor allem der anfängliche Kühleffekt und der gute Tragekomfort (n = 5), auch in Kombination mit einem Rucksack, positiv hervorgehoben. Ein weiterer positiv bewerteter Aspekt war die einfache Handhabung (n = 2). Kritische Rückmeldungen betrafen das Gewicht (n = 4), die schnell nachlassende Kühlwirkung (n = 4), sowie das Durchnässen anderer Kleidungsstücke (n = 2).

4. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass die Kühlweste die Hauttemperatur der Träger und Trägerinnen signifikant senkt. Aus thermophysiologischer Sicht ist die Hauttemperatur ein zentraler Faktor für das Wärmeempfinden und damit für den thermischen Komfort. Die beobachteten Veränderungen im thermischen Komfort beim Tragen der Kühlweste stehen daher im Einklang mit der gemessenen Reduktion der Hauttemperatur.

Die ausbleibenden Effekte der Kühlweste auf die Körperkerntemperatur und Herzfrequenz sind vermutlich auf die insgesamt nur geringe bis leicht erhöhte physische Beanspruchung der Kurierfahrenden zurückzuführen.

Die Kühldauer war unter den Feldbedingungen im Mittel sehr kurz. Die große Streuung verdeutlicht, wie stark die Umgebungsbedingungen die Wirksamkeit der Kühlweste beeinflussen. Für die Praxis resultiert aus der geringen Kühldauer die organisatorische Anforderung, dass es Möglichkeiten zur Reaktivierung der Kühlwesten während der Arbeit geben muss, z. B. durch erneutes Befeuchten oder den Austausch der Kühlpacks.

Die hohe Akzeptanz der Kühlweste unterstreicht dennoch ihr Potenzial für den Praxiseinsatz. Gleichzeitig zeigen die kritischen Rückmeldungen klare Entwicklungsbedarfe. So empfiehlt es sich, das Gewicht der Kühlweste zu reduzieren und die Verdunstungskühlung so zu gestalten, dass ein Durchnässen darunter liegender Kleidung vermieden wird.

Die geringe Stichprobengröße und die variierenden Umweltbedingungen limitieren die Generalisierbarkeit der vorgestellten Ergebnisse. Weitere Studien sollten größere Probandenzahlen, längere Tragezeiten und unterschiedliche Kühlwestenmodelle berücksichtigen. Zudem sind Untersuchungen an Hitzetagen (>30°C) erforderlich, um die Wirksamkeit der Kühlweste auch unter extremen Bedingungen zu bewerten.

5. Fazit

Hybride Kühlwesten können die Hauttemperatur und den thermischen Komfort von Kurierfahrenden an Sommertagen signifikant verbessern. Damit stellen sie eine praktikable Maßnahme für den betrieblichen Hitzeschutz dar, insbesondere bei den zu erwartenden Klimaveränderungen infolge des Klimawandels. Für eine breite Implementierung sind jedoch Anpassungen hinsichtlich Kühldauer, Gewicht und Handhabung notwendig.

6. Literatur

American College of Sports Medicine, Armstrong LE, Casa DJ, Millard-Stafford M, Moran DS, Pyne SW, Roberts WO (2007) American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition', Med Sci Sports Exerc, 39: 556-72. DOI: 10.1249/MSS.0b013e31802fa199

ASHRAE (2020) ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

BGW (2019) Bewertungsbogen: Gebrauchstauglichkeit von Medizinprodukten', Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) letzter Zugriff: 07.02.2025. https://www.bgw-online.de/resource/blob/8530/3a94e8eefeb1eb8626a6112427cb11a7/medizinprodukte-bewertungsbogen-download-data.pdf.

Borg G (1998) Borg´s Perveived Exertion And Pain Scales. Human Kinetics (Ed).

Ciuha U, Valencic T, Mekjavic IB (2021) Cooling efficiency of vests with different cooling concepts over 8-hour trials, Ergonomics, 64: 625-39. DOI: 10.1080/00140139.2020.1853820

Dehl T, Hildebrandt S, Zich K, Nolting HD (2024) Gesundheitsreport 2024. Analyse der Arbeitsunfähigkeiten. Gesundheitsrisiko Hitze. Arbeitswelt im Klimawandel. Hamburg: DAK.

Deutsches Klima Konsortium (2023). Was wir heute übers Klima wissen. Basisfakten zum Klimawandel, die in der Wissenschaft unumstritten sind. Deutsches Klima-Konsortium, Deutsche Meteorologische Gesellschaft, Deutscher Wetterdienst, Extremwetterkongress Hamburg, Helmholtz-Klima-Initiative, klimafakten.de (Ed). Berlin, Offenbach, Hamburg, Bonn.

Fatima SH, Rothmore P, Giles LC, Varghese BM, Bi P (2021) Extreme heat and occupational injuries in different climate zones: A systematic review and meta-analysis of epidemiological evidence, Environ Int, 148: 106384. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106384

Glitz KJ, Bux K, Catrein B, Dietl P, Engelmann B, Gebhardt H, Groos S, Kampmann B, Kluth K, Leyk D, Zander P, Klußmann A (2022) AWMF-S2k-Leitlinie Arbeiten unter klimatischen Belastungen. Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (Ed)

Hartmann B, Spallek M, Ellegast R (2013) Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen: Ursachen, Prävention, Ergonomie, Rehabilitation. 2. Auflage. Zwickau: ecomed Medizin.

Mayring P (2019) Qualitative Content Analysis: Demarcation, Varieties, Developments, Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, 20. DOI: 10.17169/fqs-20.3.3343

Morrissey-Basler MC, Brewer GJ, Anderson T, Adams WM, Navarro JS, Marcelino M, Martin DG, Casa DJ (2023) The effect of heat mitigation strategies on thermoregulation and productivity during simulated occupational work in the heat in physically active young men, Front Sports Act Living, 5: 1274141. DOI: 10.3389/fspor.2023.1274141

Weber B, Seidel DH, Brütting M, Ditchen D, Eul M, Glitsch U, Heinrich K, Hermanns-Truxius I, Hoehne-Hückstädt U, Lietz R, Post M, Barrero LH, Ellegast R (2020) Weiterentwicklung und Evaluierung von Ansätzen zur Gefährdungsanalyse bei physischen Belastungen für die Methodenebene Messtechnische Analyse im Feld. DGUV Report 3/2020 MEGAPHYS. Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Berlin.

Danksagung: Wir danken der BG Verkehr sowie der BGHW für die Unterstützung bei der Durchführung der Studie.

Simulation von Belastungsszenarien zur Anwendungsverbesserung der Leitmerkmalmethoden

Konstantin WAGNER, Svetlana WÄHNERT, Edgar SCHERSTJANOI

Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Professur für Arbeitswissenschaft
Marschnerstr. 39, D-01307 Dresden

Kurzfassung: Die Leitmerkmalmethoden ermöglichen eine umfangreiche Beurteilung physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Allerdings erfordert ihre Anwendung einen erheblichen Zeitaufwand, insbesondere bei wechselnden Tätigkeiten mit unterschiedlichen Zeitanteilen. Ziel des Beitrages ist es daher, den Einfluss einzelner Belastungsmerkmale auf den Gesamtrisikopunktwert zu bestimmen, um daraus Ansatzpunkte für eine Optimierung der Anwendung der Leitmerkmalmethoden zu ermitteln. Dafür wurden Belastungsszenarien anhand einer Monte-Carlo-Simulation generiert und anschließend der Einfluss einzelner Belastungsmerkmale auf den Gesamtrisikopunktwert ausgewertet. Die Vorgehensweise und die Ergebnisse werden für die Belastungsart „manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten“ dargestellt. Der Beitrag zeigt, dass der sich ergebende Gesamtrisikopunktwert unterschiedlich stark von den einzelnen Belastungsmerkmalen abhängt. Manche Belastungsmerkmale erfordern einen hohen Erfassungsaufwand, haben aber nur einen geringen Einfluss auf den Gesamtrisikopunktwert. Es werden Ansatzpunkte für vereinfachende Erfassungsprozesse aufgezeigt und damit eine anwenderfreundlichere Anwendung der Leitmerkmalmethoden ermöglicht.

Schlüsselwörter: Leitmerkmalmethode, Physische Belastungen, Simulation, Optimierung

1. Einleitung

Die von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und der Deutschen gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) weiterentwickelten Leitmerkmalmethoden ermöglichen eine umfangreiche Beurteilung physischer Belastungen am Arbeitsplatz (s. BAuA, 2019a; BAuA, 2019b; DGUV, 2020). Allerdings erfordert die Anwendung der Methoden bei wechselnden Tätigkeiten mit unterschiedlichen Belastungsarten einen hohen Erfassungsaufwand. Hierbei sind für jede Teiltätigkeit die Belastungsdauer sowie die Haupt- und Nebenbelastungsmerkmale zu erfassen (vgl. BAuA 2019a, S.128 ff.). Nach Beurteilung sämtlicher an einem Arbeitstag auftretenden Teiltätigkeiten kann der Gesamtrisikopunktwert je Belastungsart ermittelt werden (s. BAuA 2020, S. 13 ff.).

Bislang ist unbekannt, welche Relevanz die einzelnen Belastungsmerkmale für den Gesamtrisikopunktwert in unterschiedlichen Tätigkeitsprofilen aufweisen. Ziel des Beitrages ist es daher, den Einfluss einzelner Belastungsmerkmale auf den Gesamtrisi-

kopunktwert zu bestimmen (Forschungsfrage 1) und damit Ansatzpunkte für eine Optimierung der Anwendung der Leitmerkmalmethoden zu ermitteln. Es wird angenommen, dass das Hauptbelastungsmerkmal hierbei einen größeren Einfluss als die Nebenbelastungsmerkmale aufweist (Forschungsfrage 2). Zudem wird geprüft, inwiefern der Einfluss eines einzelnen Belastungsmerkmals von dem Gesamtrisikopunktwert selbst, der Anzahl an Teiltätigkeiten sowie der Länge des Arbeitstages abhängt (Forschungsfrage 3). Die Vorgehensweise und die Ergebnisse werden in diesem Beitrag anhand der Belastungsart „manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten“ dargestellt.

2. Methoden

2.1 Durchführung der Simulation

Einzelne Belastungsszenarien, wie sie bei der Evaluation realer Arbeitsplätze entstehen, weisen spezifische Bedingungen auf. Hierbei können je nach Arbeitsplatz einzelne Belastungsarten verstärkt, Andere jedoch überhaupt nicht auftreten. Um die Forschungsfragen branchenunabhängig zu beantworten, wurde ein möglichst repräsentativer Datensatz mittels einer Monte-Carlo-Simulation (vgl. Abbildung 1) generiert.

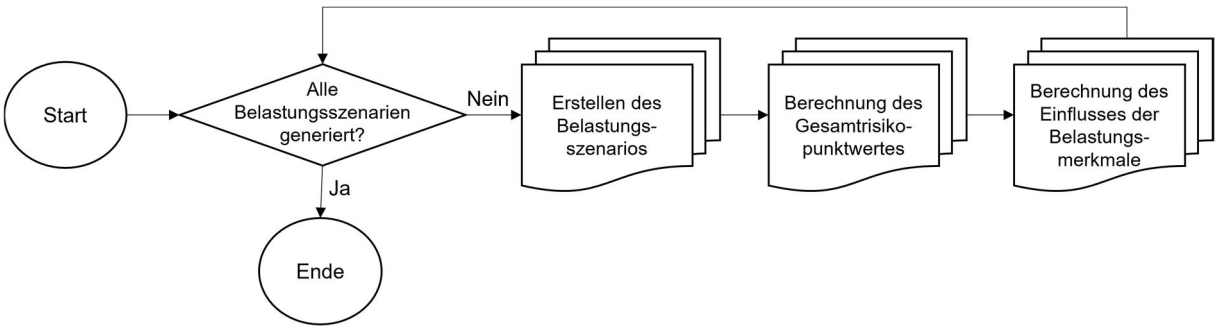


***Abbildung 1**: Allgemeine Vorgehensweise bei der Durchführung der Monte-Carlo-Simulation. Zunächst werden Belastungsszenarien generiert, anschließend der belastungsartspezifische Gesamtrisikopunktwert berechnet und zuletzt der Einfluss der Belastungsmerkmale auf den Gesamtrisikopunktwert bestimmt.*

In der Simulation wurden Belastungsszenarien erstellt, welche aus einer Sequenz von Teiltätigkeiten unterschiedlicher Belastungsarten bestehen und einen theoretischen Arbeitstag repräsentieren. Die Länge eines Belastungsszenarios variierte in diskreten Schritten von 60 Minuten zwischen 60 und 480 Minuten. Innerhalb eines Belastungsszenarios konnten bis zu sechs Belastungsarten unterschiedlicher Dauer auftreten. Die konkrete Zeit jeder einzelnen Teiltätigkeit wurde zufällig aus dem zulässigen Wertebereich gewählt, wobei diese mindestens eine Minute und maximal die Dauer der restlichen verfügbaren Arbeitszeit betragen konnte. Für jede Teiltätigkeit wurden die Ausprägungen der Belastungsmerkmale zufällig aus den zulässigen Wertebereichen gewählt bzw. insofern möglich, aus anderen Kennwerten bestimmt. Anschließend wurden der Gesamtrisikopunktwert sowie der Einfluss je Belastungs-

merkmal berechnet. Dieser Einfluss entspricht dem kumulativen Anteil der Ausprägungen eines Belastungsmerkmals an dem belastungsartspezifischen Gesamtrisikopunktwert des Belastungsszenarios und ist in Gleichung (1) dargestellt.

(1)
$$S_B = \frac{\sum_{i=1}^{n}(B_i * (ZW(\sum_{j=1}^{i} t_j) - ZW(\sum_{j=1}^{i-1} t_j)))}{PW}$$

Hierbei entspricht in Gleichung (1) B_i der Ausprägung eines Belastungsmerkmals innerhalb einer spezifischen Teiltätigkeit, *ZW* der Zeitwichtung bezogen auf den Gesamtrisikopunktwert *PW*, *t* der Dauer der Teiltätigkeit und S_B dem Einfluss des Belastungsmerkmals innerhalb eines Belastungsszenarios. Nach Simulation aller Belastungsszenarien wurde der mittlere Einfluss eines Belastungsmerkmals ($\overline{S_B}$) anhand von Gleichung (2) berechnet, wobei *k* der Anzahl der Belastungsszenarien mit dem Belastungsmerkmal entspricht.

(2)
$$\overline{S_B} = \frac{1}{k} * \sum_{l=1}^{k} S_{B_l}$$

Insgesamt wurden die Merkmalsausprägungen von 100.000 Belastungsszenarien zufällig generiert und anschließend die darauf aufbauenden Kennwerte berechnet. Die Wahl dieser Stichprobengröße basierte auf vorgelagerten Testsimulationen. Dadurch galt, dass der Standardfehler (se) aller berechneten mittleren Einflüsse unter 0,1 liegt.

2.2 Statistische Auswertung des Datensatzes

Für die statistische Untersuchung von Fragestellung 1 wurde ein Einstichproben-*t*-Test gegen Null durchgeführt. Hierbei wurde getestet, ob sich der mittlere Einfluss eines Belastungsmerkmals signifikant von Null (d.h. keinem Einfluss) unterscheidet. Für Fragestellung 2 wurden das Haupt- und die Nebenbelastungsmerkmale in Bezug auf ihren Einfluss zunächst pro Belastungsszenario zusammengefasst und dann über die Belastungsszenarien gemittelt. Da das Haupt- und die Nebenbelastungsmerkmale jeweils einem Belastungsszenario zugewiesen werden können, wurden mögliche Unterschiede anhand eines Zweistichproben-*t*-Tests für abhängige Stichproben getestet. Fragestellung 3 wurde anhand eines linearen Modells untersucht. Dabei wurde der Einfluss eines Belastungsmerkmals auf den Gesamtrisikopunktwert anhand der drei Prädiktoren Gesamtrisikopunktwert, Anzahl an Teiltätigkeiten und Länge des Arbeitstages vorhergesagt. Pro Prädiktor wurde der lineare Zusammenhang bei Konstanthalten der anderen Prädiktoren getestet. Um die Koeffizienten und somit die Stärke des Zusammenhangs vergleichbar zu machen, wurden die Prädiktoren standardisiert in das Modell aufgenommen.

3. Ergebnisse

Alle inferenzstatistischen Tests sind aufgrund der sehr großen Stichprobengröße signifikant. Deshalb werden im Folgenden nur die Effektstärken berichtet. In Abbildung 2 sind die Ergebnisse zusammengefasst: Links wird der mittlere Einfluss der einzelnen Belastungsmerkmale anhand von horizontalen Balken dargestellt (Fragestellung 1). Hauptbelastungsmerkmale sind in Dunkelgrau und Nebenbelastungsmerkmale in Hellgrau hinterlegt (Fragestellung 2). Rechts sind pro Belastungsmerkmal die Koeffizienten der Regressionsgleichung aufgelistet, bei der die drei Prädiktoren den Einfluss eines Belastungsmerkmals auf den Gesamtrisikopunktwert vorhersagen (Fragestellung 3). Beispielsweise kann der Wert für die Länge des Arbeitstages in der ersten Zelle (-2,81) folgendermaßen inhaltlich interpretiert werden: Steigt die Länge des Arbeitstages um eine Standardabweichung, dann sinkt der Einfluss des effektiven Lastgewichtes der Männer auf den Gesamtrisikopunktwert um 2,81 % bei konstanter Anzahl der Teiltätigkeiten und Gesamtrisikopunktwert. Es ist erkennbar, dass sich das Koeffizientenmuster für das Hauptbelastungsmerkmal (Effektives Lastgewicht der Männer) von den Nebenbelastungsmerkmalen unterscheidet.

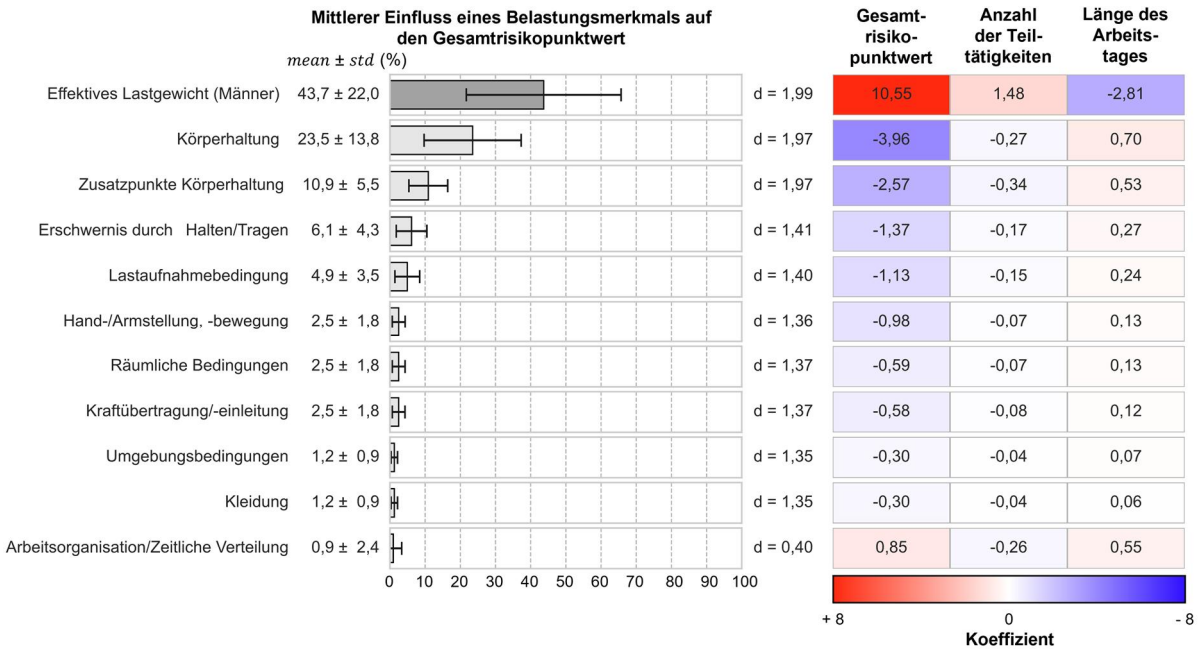


***Abbildung 2**: Mittlerer Einfluss auf den belastungsartspezifischen Gesamtrisikopunkt der einzelnen Belastungsmerkmale innerhalb der Belastungsart „manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten“. Fehlerbalken repräsentieren die Standardabweichung. Das Belastungsmerkmal „Effektives Lastgewicht (Männer)“ kennzeichnet das Hauptbelastungsmerkmal der dargestellten Belastungsart. Jede Zeile in der rechts dargestellten Tabelle entspricht einem linearen Modell pro Belastungsmerkmal. Dargestellt sind die Koeffizienten dieser linearen Modelle, bei denen der Einfluss der Belastungsmerkmale auf den Gesamtrisikopunktwert anhand des Gesamtrisikopunktwertes selbst, der Anzahl der Teiltätigkeiten sowie der Länge des Arbeitstages vorhergesagt wird.*

Nach den Konventionen von Cohen (Cohen, 1992) sind alle Effektstärken in Bezug auf den Einfluss der einzelnen Belastungsmerkmale fast ausschließlich als groß zu interpretieren (d > 1,09). Die Ausnahme bildet das Belastungsmerkmal “Arbeitsorganisation/Zeitliche Verteilung”, welches als klein einzustufen ist (d = 0,4). Auch die Effektstärke in Bezug auf den Unterschied zwischen Haupt- und Nebenbelastungsmerkmal ist mit d = 1,57 groß.

4. Diskussion und Fazit

Ziel der Simulation war die Abschätzung des Einflusses einzelner Belastungsmerkmale auf den Gesamtrisikopunktwert, um eine potenzielle Anwendungsvereinfachung ableiten zu können. Die Vorgehensweise und Ergebnisse wurden hierbei für die Belastungsart „manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten“ dargestellt. Für die weiteren Belastungsarten wurde analog vorgegangen, weshalb sich die Art der Ergebnisse ähnelt.

Forschungsfrage 1 untersuchte den Einfluss der Belastungsmerkmale auf den Gesamtrisikopunktwert. Dabei weisen alle Belastungsmerkmale einen signifikanten Einfluss auf den Gesamtrisikopunktwert auf, wobei die Effektstärke für alle Belastungsmerkmale mit Ausnahme des Merkmals “Arbeitsorganisation/Zeitliche Verteilung” groß ist. Für eine Anwendungsvereinfachung der Leitmerkmalmethoden können daher nicht pauschal nur bestimmte Belastungsmerkmale betrachtet werden.

Forschungsfrage 2 betrachtete, inwiefern sich der Einfluss des Hauptbelastungsmerkmals von denen der Nebenbelastungsmerkmale unterscheidet. Es ist erkennbar, dass deutliche Abweichungen bzgl. der Höhe des mittleren Einflusses der Belastungsmerkmale auf den Gesamtrisikopunktwert existieren. Hierbei zeigte sich, dass das Hauptbelastungsmerkmal gegenüber den Nebenbelastungsmerkmalen dominiert. So lag der mittlere Einfluss des Hauptbelastungsmerkmals “Effektives Lastgewicht (Männer)” in der Belastungsart „manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten“ bei durchschnittlich 43,7 %. Im Gegensatz dazu beträgt der mittlere Einfluss eines einzelnen Nebenbelastungsmerkmals (“Körperhaltung”) maximal 23,5 %. Für 7 der 10 Nebenbelastungsmerkmale lag der mittlere Einfluss auf den Gesamtrisikopunktwert unter 5 %. Die Kennwerte für den Einfluss eines Belastungsmerkmals wurden für Männer berechnet. Für Frauen ist erwartbar, dass der Einfluss des Hauptbelastungsmerkmals in der Leitmerkmalmethode „manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten“ über dem von Männern liegt, da ein höheres effektives Lastgewicht zu einer höheren Merkmalsausprägung führt. Ursache für die starken Abweichungen in den mittleren Einflüssen der Belastungsmerkmale sind die Unterschiede in Bezug auf die Spannweite möglicher Merkmalsausprägungen. Das Hauptbelastungsmerkmal kann in der Bewertung nach der Leitmerkmalmethode eine Lastwichtung von bis zu 100 Punkten annehmen, wohingegen eine kritische Hand-/Armstellung oder –bewegung bei derselben Teiltätigkeit zu einer Merkmalsausprägung von maximal 2 Punkten führt (vgl. BAuA 2019, S.163 f.). Dies ist zweckmäßig und intendiert, um eine mögliche körperliche Überbeanspruchung deutlich aufzuzeigen (ebd.). Allerdings sind Möglichkeiten der Vereinfachung bei der Erfassung von Belastungsmerkmalen denkbar. In künftigen Untersuchungen kann dabei mit dem Ziel einer Anwendungsvereinfachung geprüft werden, inwiefern für Belastungsmerkmale mit geringem Einfluss eine mittlere Abschätzung der Merkmalsausprägung über alle Teiltätigkeiten zulässig ist.

Forschungsfrage 3 untersuchte, inwiefern der Einfluss der Belastungsmerkmale von dem Gesamtrisikopunktwert selbst, der Anzahl der Teiltätigkeiten sowie der Länge des Arbeitstages abhängt. Es wurde festgestellt, dass jede der genannten Prädiktoren einen signifikanten Einfluss auf den Einfluss der Belastungsmerkmale aufweist. Hierbei unterscheidet sich das Ausmaß des Einflusses nach den einzelnen Prädiktoren. Es ist festzustellen, dass der Einfluss des Hauptbelastungsmerkmals mit zunehmendem Gesamtrisikopunktwert und steigender Anzahl an Teiltätigkeiten zunimmt. Hingegen sinkt der Einfluss des Hauptbelastungsmerkmals mit zunehmender Länge des Arbeitstages. Für die Nebenbelastungsmerkmale wurde der umgekehrte Effekt festgestellt. Aus-

nahme bildet hierbei das Belastungsmerkmal “Arbeitsorganisation/Zeitliche Verteilung”, welches in Abhängigkeit der Dauer der Belastungsart (vgl. BAuA 2019a, S. 168f.) bestimmt wurde und daher erst ab dem Überschreiten von 2 Stunden innerhalb einer Belastungsart einen Einfluss von ungleich Null annehmen kann. Unter realen Bedingungen ist anzunehmen, dass mit zunehmender Arbeitstaglänge sowohl der Gesamtrisikopunktwert als auch die Anzahl an Teiltätigkeiten steigen werden. Aus diesem Grund wird erwartet, dass für reale Belastungsszenarien mit 8 Stunden Schichtlänge der Einfluss des Hauptbelastungsmerkmals gegenüber den Nebenbelastungsmerkmalen noch stärker dominiert und daher ein erhöhter Erfassungsaufwand im Vergleich zu den Nebenbelastungsmerkmalen gerechtfertigt ist.

In der Simulation wurden 100.000 Belastungsszenarien unterschiedlicher Dauern generiert, wobei die Ausprägungen einzelner Belastungsmerkmale jeweils zufällig aus dem zulässigen Wertebereich ausgewählt wurden. Hierbei wurde angenommen, dass alle Belastungsarten und Merkmalsausprägungen gleich wahrscheinlich sind. Dies ist eine vereinfachende Annahme. Um reale Bedingungen besser abbilden zu können, sollte im nächsten Schritt eine Verteilung zugrunde gelegt werden, die die tatsächliche Verteilung genauer repräsentiert.

5. Literatur

BAuA [Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin]. 2019a. *MEGAPHYS: Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz: Gemeinsamer Abschlussbericht der BAuA und der DGUV*. Band 1. Dortmund: BAuA. DOI: 10.21934/baua: bericht20190821.

BAuA [Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin]. 2019b. *Gefährdungsbeurteilung bei physischer Belastung – die neuen Leitmerkmalmethoden (LMM) : baua: Bericht kompakt*. Dortmund: BAuA. DOI: 10.21934/baua: berichtkompakt20190930.

BAuA [Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin]. 2020. *Erweiterte Leitmerkmalmethoden (LMM-E): Algorithmen für Interpolation und Zusammenfassung*. 1. Auflage. Dortmund: BAuA. DOI: 10.21934/baua:fokus20200414.

Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin, 112*(1), 155–159. DOI: https://doi.org/ 10.1037//0033-2909.112.1.155

DGUV [Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung]. 2020. DGUV Report 3/2020: *MEGAPHYS: Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz: Abschlussbericht zum Kooperationsprojekt von BAuA und DGUV*. Band 2. Abgerufen am: 07.01.2026. Verfügbar unter: publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3635

Förderhinweis: Dieses Vorhaben wird von der industriellen Gemeinschaftsforschung sowie dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Förderkennzeichen 01|F23438N) gefördert.

Risikoeinschätzung und -exposition bei Basisarbeitenden im Bereich der klima- und witterungsbedingten Belastungen – das Projekt KlimaResist

Georg KOLBE, Michael BAU, Andrea ALTEPOST

ILAG - Institut Leistung Arbeit Gesundheit
Hipperstr. 5; D-24306 Plön

Kurzfassung: Im vom BMAS geförderten Projekt KlimaResist werden digitale Werkzeuge entwickelt, die eine belastungsoptimierte Arbeitsorganisation ermöglichen, Beschäftigte und Führungskräfte zu arbeitsbezogenen Risiken des Klimawandels sowie Reaktionsmöglichkeiten qualifiziert und Organisationsentwicklungsprozesse initiiert, um klimabezogene Faktoren bereits frühzeitig in betrieblichen Planungsprozessen zu berücksichtigen. Hauptzielgruppen des Projekts sind Unternehmen des Hochbaus, in denen die Beschäftigten vornehmlich im Freien arbeiten.

Schlüsselwörter: Klimawandel, Basisarbeit, Arbeitsgestaltung, Organisationsentwicklung

1. Hintergrund zum Projekt KlimaResist

Der Klimawandel betrifft und trifft uns alle, besonders aber die Beschäftigten, die ihren Lebensunterhalt überwiegend im Freien erarbeiten. Sie sind verstärkt Hitze, UV-Strahlung und Extremwetterereignissen ausgesetzt. Auch wenn diese Faktoren auf alle diese Beschäftigten einwirken, sind Basisarbeitende aufgrund ihrer körperlich schweren Arbeit, fehlender Gestaltungsspielräume, prekärer Beschäftigungsverhältnisse und mangelnder Einbindung in die betriebliche Arbeitsschutzorganisation überdurchschnittlich stark betroffen.

1.1 Klimawandel und Arbeit im Freien

Nachfolgend wird ein kurzer Überblick der mit dem Klimawandel einhergehenden Veränderungen gegeben, die maßgeblich die Arbeit im Freien betreffen.
Die durchschnittliche Jahresmitttellufttemperatur steigt. Die Anzahl heißer Tage mit mehr als 30 Grad Celsius nimmt ebenso zu, wie die Anzahl der Tropennächte, in denen die Temperatur nicht unter 20 Grad Celsius sinkt. Regional und auch jahresweise gibt es erhebliche Schwankungen, jedoch zeigen sich diese Entwicklungen in langfristigen Trends. Insbesondere in Ballungszentren mit dichter Bebauung, einem hohen Anteil versiegelter Flächen und geringer Bepflanzung zeigen sich vermehrt heiße Tage und Tropennächte. Die durchschnittliche Sonnenscheindauer steigt. Damit einher geht eine Erhöhung der solaren UV-Strahlung (Lorenz et al. 2024).

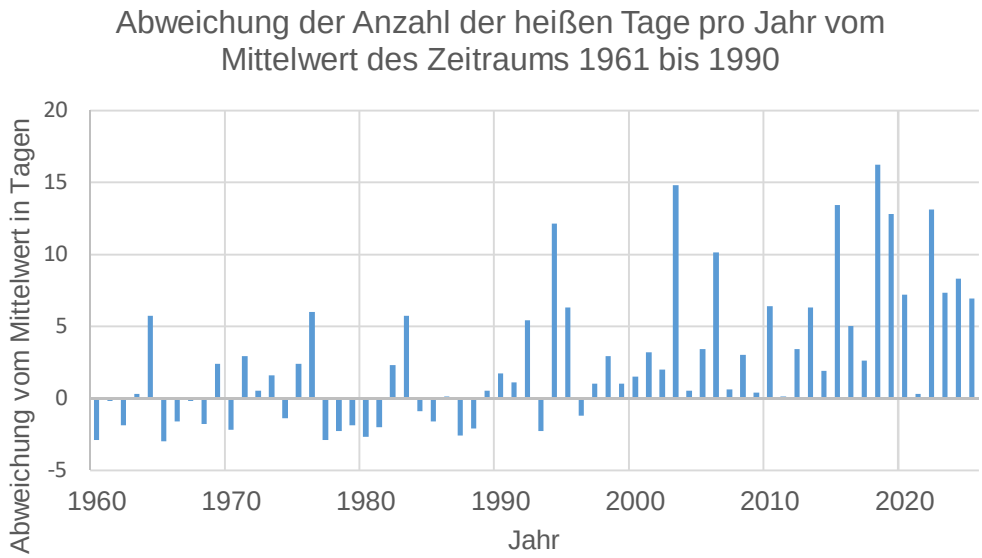


***Abbildung 1**: Abweichung der Anzahl der heißen Tage (Tagesmaximum der Temperatur mindestens 30°C) pro Jahr vom Mittelwert des Zeitraums 1961 bis 1990 in Deutschland, eigene Darstellung, Daten: DWD (2026).*

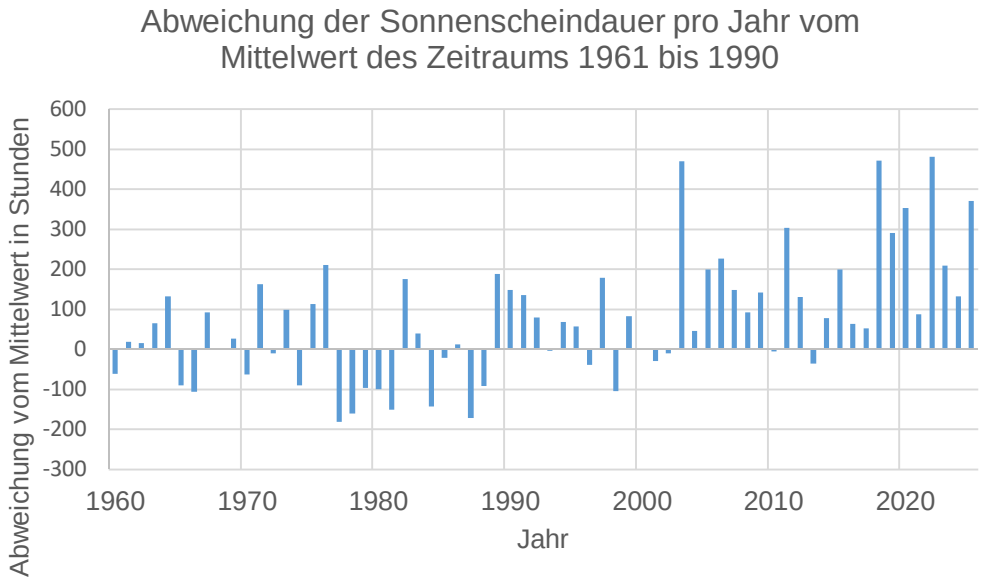


***Abbildung 2**: Abweichung der Sonnenscheindauer pro Jahr vom Mittelwert des Zeitraums 1961 bis 1990 in Deutschland, eigene Darstellung, Daten: DWD (2026).*

1.2 Gesundheitliche Auswirkungen steigender Temperaturen und erhöhter Sonneneinstrahlung bei der Arbeit im Freien

Bei Hitze entstehen erhöhte Anforderungen an die Thermoregulation des Körpers, um die Körperkerntemperatur im Bereich zwischen 35°C und 38°C zu halten: Die Herzfrequenz und Durchblutung der Haut wird ebenso verstärkt wie die Abgabe von Schweiß um durch vermehrte Wärmeabgabe und Verdunstungskälte ein zu weites Ansteigen der Körperkerntemperatur zu verhindern (Glitz et al., 2022). Auch ohne erhöhte körperliche Anstrengung führen diese Mechanismen selbst bei gesunden Erwachsenen zu einer erhöhten Belastung des Herz-Kreislauf-Systems sowie vermehrtem Flüssigkeits- und Elektrolytverlust. Erhöhte körperliche Anstrengung,

Vorerkrankungen oder isolierende Bekleidung wie Schutzausrüstung können die wirksame Thermoregulation so weit einschränken oder die Leistungsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems überbeanspruchen, dass akute gesundheitliche Folgen wie Dehydrierung, Erschöpfung oder Hitzschlag drohen. Ebenso steigt das Unfallrisiko durch verminderte körperliche und geistige Leistungsfähigkeit (Winklmayr et al., 2023). Erhöhte Sonneneinstrahlung kann durch den Wärmeeintrag in den Körper die Thermoregulation weiter erschweren und die erhöhte solare UV-Strahlung kann kurzfristig zu Sonnenbrand und langfristig zu Krebserkrankungen der Haut führen.

Tabelle 1: *Übersicht ausgewählter direkter und indirekter Gesundheitsfolgen starker Hitzebelastung. Angepasste Darstellung nach Winklmayr et al. (2023).*

Direkte Folgen		Indirekte Folgen
Hitzebedingte Gesundheitsgefahren	**Verschlimmerung von Erkrankungen**	**Erhöhtes Unfallrisiko**
Dehydrierung	Atemwegserkrankungen	Verletzungen
Hitzeerschöpfung	Diabetes mellitus	Vergiftungen
Hitzekrämpfe	Nierenerkrankungen	Arbeitsunfälle
Hitzekollaps	Schlaganfälle	Ertrinken
Hitzschlag	Psychische Erkrankungen	

1.3 Klimawandel und Basisarbeit im Hochbau

Wenn wir von Basisarbeitenden sprechen, meinen wir Beschäftigte, die häufig ohne formale oder mit fachfremder Qualifikation Tätigkeiten übernehmen, die nur einer kurzen Einarbeitung bedürfen, oft repetitiv sind und durch hohe körperliche Belastungen und aversive Arbeitsumgebungsbedingungen gekennzeichnet sind (Brenscheid et al., 2023). Gleichzeitig sind diese Beschäftigten und die von ihnen verrichtete Arbeit für die Gesellschaft und den wirtschaftlichen Erfolg der Unternehmen unverzichtbar. Basisarbeitende arbeiten häufig auf einem Anforderungsniveau, das klassisch als Helfer oder Helferin bezeichnet wird (Bovenschulte, 2021). Basisarbeit wird dementsprechend auch häufig als Einfacharbeit oder Helfertätigkeit bezeichnet (BMAS, 2025). Beschäftigte dieses Anforderungsniveaus haben einen Anteil von ungefähr 20 Prozent an der Gesamtzahl der Beschäftigten im Hochbau (Fleischer & Singer 2024) und stellen hier somit eine bedeutende Beschäftigtengruppe dar.

2. Ziele und Vorgehen im Projekt KlimaResist

Das Projekt KlimaResist ist ein vom BMAS-gefördertes Projekt von ILAG – Institut Leistung Arbeit Gesundheit, Plön, Berufsforschungs- und Beratungsinstitut für interdisziplinäre Technikgestaltung, Bochum (BIT), der IKK Classic und dem Institute for Technologies and Management of Digital Transformation (TMDT) der Uni Wuppertal in Kooperation mit Unternehmen der Bau- und Ausbaugewerke sowie Sozialpartnern.

Das ILAG verantwortet die Aufbereitung des Forschungsstandes und die Modellbildung zu den Wechselwirkungen zwischen Klimawandel, Arbeitsbedingungen und individuellen persönlichen Faktoren, sowie die Entwicklung und Umsetzung partizipativer Verfahren zur Lösungsfindung für betrieblicher Problemstellungen im Themenfeld. BIT koordiniert Projekte, führt Vor-Ort-Analysen durch, erprobt gemeinsam mit dem ILAG ganzheitliche MTO-Konzepte und transferiert

zielgruppenspezifisch Ergebnisse – eng mit empirischen Verfahren und Evaluationen verknüpft. Das TMDT nimmt Anwendungsfälle aus den Projektbetrieben auf, organisiert Hackathons für Prototypen und entwickelt Software und Hardware für die digitalen Werkzeuge. Die IKK classic entwickelt Konzepte für betriebsübergreifende Maßnahmen und für die Kommunikation mit den Sozialpartnern.
Gemeinsam sollen praxistaugliche Lösungen mit und für Unternehmen und ihre Beschäftigten entwickelt werden, um klimawandelbedingten Erschwernisse in den Arbeitsbedingungen erfolgreich zu begegnen.

Für ausführende Beschäftigte und insbesondere Basisarbeitende werden körpergetragene Sensoren (Wearables) entwickelt, welche die individuelle Exposition gegenüber klimabedingten Belastungsfaktoren wie UV-Strahlung und Hitze und die damit verbundenen gesundheitlichen Risiken erfassen und mit einer plattformübergreifen Progressive Web App (PWA) nachvollziehbar darstellen.

Die Befragungen der Führungskräfte in den beteiligten Projektunternehmen haben gezeigt, dass gerade die Akzeptanz persönlicher Schutzmaßnahmen wie von den Unternehmen bereitgestellte Sonnenschutzcreme oder Sonnenschutzkleidung trotz wiederholter und praxisnaher Schulungen gering ist. Auch wenn diese Schutzmaßnahmen gemäß des TOP – Prinzips nachrangig sind, stellen sie häufig eine notwendige Maßnahme dar, um zusätzlich zu Verschattungen und arbeitsorganisatorischen Anpassungen wie Arbeitszeit- und Arbeitsortverschiebungen die verbleibenden Belastungen zu minimieren. Durch die nachvollziehbare Darstellung der individuellen UV-Exposition soll die tatsächliche Beanspruchung den Beschäftigten verdeutlicht und die Bereitschaft zur Nutzung der Schutzmaßnahmen gefördert werden. Gleichzeitig wird die Praxistauglichkeit der von den Unternehmen bereitgestellten Schutzmaßnahmen verbessert durch den Rückgriff auf aktuelle Forschungsergebnisse beispielsweise zur Bewertung der Eignung von Sonnenschutzmitteln für Außenarbeiten (Rocholl et al., 2021).

Für die Belastungen durch Hitze sollen durch die App individuelle Hinweise zur Anpassung der Arbeitsschwere, dem Einlegen von Pausen und zum Trinkverhalten gegeben werden.

Die sozialpartnerschaftliche Umsetzung geeigneter Datenschutzkonzepte um die individuellen Persönlichkeitsrechte der Beschäftigten bei Nutzung der App zu schützen und gleichzeitig die Arbeitgebenden bei der Umsetzung ihrer Fürsorgepflicht zu unterstützen erfolgt begleitend zur technischen Entwicklung im Projekt.

Für mit der Arbeitsplanung beauftragten Führungskräfte wird eine weitere plattformübergreifenden Progressive Web App (PWA) entwickelt, welche die zu erwartenden klimatischen Belastungsfaktoren an den Arbeitsorten prognostiziert und die Planung technischer, organisatorischer und persönlicher Schutzmaßnahmen unterstützt. Dabei sollen Klimasummenmaße, wie auch in der im August 2025 erschienen ASR A5.1 gefordert (Ausschuss für Arbeitsstätten, 2025), zutreffende aber praktisch handhabbare Abschätzungen der erwartbaren thermischen Belastungen unter Berücksichtigung arbeitsbezogener Rahmenbedingungen und deren Interaktion wie beispielsweise Arbeitsschwere, persönliche Schutzausrüstung und Arbeitsbekleidung ermöglichen.

Die Entwicklung der Progressive Web App für die Arbeitsplanung und für die Erfassung der individuellen Exposition gegenüber klimabedingten Risikofaktoren erfolgt iterativ. Sie baut auf betrieblichen Workshops und Fokusgruppen auf, die sozialpartnerschaftlich Ziele der Beschäftigten und Arbeitgebenden ermitteln und in den Entwicklungsprozess einfließen lassen. Hierbei werden Kernfunktionen wie Klimadaten-Integration, E-Learning-Module, zielgruppengerechte Visualisierungen,

Offline-Funktionalität, Push-Warnungen und personalisierte Oberflächen definiert. Mit Beta-Tests und Umfragen werden in den Projektunternehmen die Praxistauglichkeit geprüft und Verbesserungsvorschläge aufgenommen. Die Entwicklung und Einführung der Apps wird eng begleitet und in das Gesamtkonzept mit individuellen Qualifizierungen und Maßnahmen der Organisationsentwicklung zur Sicherheits- und Führungskultur integriert.

3. Diskussion

Ein Schwerpunkt des Projektes ist die Verankerung der mit und für die Unternehmen und ihre Beschäftigten entwickelten technischen, organisatorischen und persönlichen Maßnahmen in der Unternehmenskultur und den betrieblichen Abläufen. Im Projekt sollen insbesondere Erkenntnisse zur Förderung der Akzeptanz der digitalen Werkzeuge zur individuellen Expositionsbestimmung bei allen Beschäftigten und insbesondere Basisarbeitenden in kleinen Handwerksunternehmen gewonnen werden. In diesen existieren häufig weder formale Strukturen noch Stabsstellen für diese Handlungsfelder und das persönliche Engagement von Inhabenden oder Geschäftsführenden entscheiden über den Stellenwert dieser Themen im betrieblichen Alltag. Schon im Projekt „Zukunftssicherung durch Unterstützung und Kompetenzentwicklung für das Handwerk in der Region“ war deutlich geworden, dass der größte Handlungsbedarf zukünftig im Handwerk in der betrieblichen Gesundheitsförderung gesehen wird (Bau et al., 2015) Darüber hinaus sollen insbesondere Erkenntnisse zur Erreichbarkeit von kleinen Handwerksunternehmen für praxisorientierte Forschungsprojekte gewonnen werden, die Lösungen für aktuelle und mit dem Klimawandel verknüpfte Problemstellungen entwickeln.

4. Ausblick

Unternehmen, die am Projekt KlimaResist teilnehmen und das Gesamtkonzept, also alle Bestandteile entlang des MTO-Konzeptes, umsetzen, werden zukünftig klima- und witterungsbedingte Belastungen der Beschäftigten erfolgreich handhaben können: Führungskräfte und Beschäftigte kennen die Belastungen nicht nur qualitativ, sondern individuell und quantitativ. In der Arbeitsplanung werden die Belastungen bereits prognostisch berücksichtigt und rechtzeitig technische und organisatorische Maßnahmen ergriffen. Durch die intensive Thematisierung klima- und witterungsbedingter Belastungen, rücken auch weitere Aspekte des Arbeitsschutzes und der betrieblichen Gesundheitsförderung in den Fokus und fördern eine Sicherheitskultur die von allen Beteiligten unterstützt wird. Die Unternehmen können ihr Engagement für die Gesundheit der Beschäftigten im Rahmen der Rekrutierung und Bindung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern öffentlichkeitswirksam darstellen. Ausfallzeiten und individuelle Gesundheitsfolgen werden verringert, sodass Beschäftigte und Unternehmen profitieren.

5. Literatur

Ausschuss für Arbeitsstätten (Hrsg.) (2025) ASR A5.1 Arbeitsplätze in nicht allseits umschlossenen Arbeitsstätten und Arbeitsplätze im Freien. Ausgabe: August 2025

Bau M, Schleicher R, Hensel G, Pasucha K. (2015) Projekt ZuKehr. Zukunftssicherung durch Unterstützung und Kompetenzentwicklung für das Handwerk in der Region. Empirische Erhebung von Belastungsfaktoren, Maßnahmen und Unterstützungsoptionen. Abschlussbericht im Programm „Zukunft der Arbeit“ des BMAS, ILAG, Plön.

BGF – Institut für Betriebliche Gesundheitsförderung (2023) Gesundheitsbericht Basisarbeitende 2023 - Auswertung von Arbeitsunfähigkeitsdaten der AOK-versicherten Beschäftigten im Rheinland und in Hamburg. Online verfügbar unter: https://www.bgf-institut.de/fileadmin/redaktion/downloads/gesundheitsberichte/aktuelle_Gesundheitsberichte/2023/BGF_Gesundheitsbericht_Basisarbeitende_2023.pdf6 (zuletzt abgerufen am 07.01.2026)

Bovenschulte M. (2021) Die zweite Moderne der Basisarbeit. In: Große-Jäger et al. (Hrsg.) Basisarbeit Mittendrin und außen vor, 26-37.

Brenscheid S, Siefer A, Hünefeld L, Backhaus N, Halke T, Lück M, Kaboth A, Möller H, Teborg S (2023): Arbeitswelt im Wandel. Zahlen - Daten - Fakten. Ausgabe 2023. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.). Dortmund. Online verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Praxis/A109.pdf?__blob=publicationFile&v=9 zuletzt geprüft am 14.01.2026

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.) (2014) BIBB/BAuA-2012 Factsheet 11 Arbeitsbedingungen am Bau – Immer noch schwere körperliche Arbeit trotz technischen Fortschritts. Online verfügbar unter: www.baua.de/dok/6505556 (zuletzt abgerufen am 07.01.2026)

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2025) FAKTENCHECK BASISARBEIT – Beschäftigte und Beschäftigungsmerkmale. Online verfügbar unter: https://www.arbeit-sicher-und-gesund.de/fileadmin/PDFs/Basisarbeit/Monitore/ASUG_Monitor_Basisarbeit_Faktencheck_Basisarbeit.pdf (zuletzt abgerufen am 07.01.2026)

DWD – Deutscher Wetterdienst (2026) Zeitreihen und Trends. Online verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html (zuletzt abgerufen am 07.01.2026)

Fleischer N, Singer K (2024) Arbeitsmarktsituation in der Bauwirtschaft. In: Bundesagentur für Arbeit – Statistik/Arbeitsmarktberichterstattung (Hrsg.) Berichte: Blickpunkt Arbeitsmarkt – August 2024

Glitz K J, Bux K, Catrein B, Dietl P, Engelmann B, Gebhardt H, Groos S, Kampmann B, Kluth K, Leyk D, Zander P, Klußmann A (2022) Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (Hrsg.) AWMF-S2k-Leitlinie Arbeiten unter klimatischen Belastungen 1. Auflage, Version 1 vom 10.06.2022 verfügbar unter: https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/002-045.html (zuletzt abgerufen am 07.01.2026)

Lorenz S, Heinzl F, Bauer S, Janßen M, De Bock V, Mangold A, Scholz-Kreisel P, Weiskopf D. (2024) Increasing solar UV radiation in Dortmund, Germany: data and trend analyses and comparison to Uccle, Belgium. Photochem Photobiol Sci 23, 2173–2199 (2024). https://doi.org/10.1007/s43630-024-00658-8 (zuletzt abgerufen am 07.01.2026)

Rocholl et al. (2021) New methods for assessing secondary performance attributes of sunscreens suitable for professional outdoor work. Journal of Occupational Medicine and Toxicology (2021) 16:25

Winklmayr C, Matthies-Wiesler F, Muthers S, Buchien S, Kuch B, an der Heiden, Mücke H (2023) Hitze in Deutschland: Gesundheitliche Risiken und Maßnahmen zur Prävention. Journal of Health Monitoring · 2023 8(S4)

Danksagung: Das Projekt „KlimaResist“ wird im Rahmen des Programms „Wandel der Arbeit“ durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales und die Europäische Union über den Europäischen Sozialfonds Plus (ESF Plus) gefördert. Die Autorin und die Autoren danken dem Bundesministerium für Arbeit und Soziales und dem Europäischen Sozialfonds Plus für die Unterstützung des Projektes.

Mensch-KI-Interaktion in industriellen Arbeitswelten: Eine quantitative Erhebung zur wahrgenommenen Arbeitsfähigkeit von Arbeitnehmenden im Kontext diverser KI-Anwendungen

Samantha WERENS, Jörg VON GARREL

Fachbereich Gesellschaftswissenschaften, Hochschule Darmstadt
Haardtring 100, D-64295 Darmstadt

Kurzfassung: Die zunehmende Integration Künstlicher Intelligenz (KI) in der industriellen Arbeitswelt verändert Arbeitsanforderungen und Interaktionsformen zwischen Mensch und Technik. Daher wurde eine quantitative Studie im produzierenden Sektor durchgeführt, die die Arbeitsfähigkeit von Mitarbeitenden in unterschiedlichen KI-Arbeitsszenarien untersucht. Die deutschlandweite Befragung von über 800 Beschäftigten basiert auf einem mehrdimensionalen Erhebungsinstrument, welches die Interaktionsart und Autonomiegrad von KI-Systemen berücksichtigt. Das Messinstrument beinhaltet validierte Instrumente wie u.a. den Work Ability Radar (WAPR), den Work Design Questionnaire (WDQ) oder das Big Five-Inventory (BFI-10). Die Studie ermöglicht eine mehrdimensionale Betrachtung der Arbeitsfähigkeit im KI-Kontext und birgt das Potential, die menschorientierte Gestaltung KI-basierter Arbeitssysteme gezielter zu optimieren.

Schlüsselwörter: Quantitative Erhebung, Arbeitsfähigkeit, Mensch-KI-Interaktion, Künstliche Intelligenz, Produktion, soziotechnische Systeme

1. Einleitung

Künstliche Intelligenz (KI) entwickelt sich kontinuierlich zu einem bedeutsamen Gestaltungsfaktor industrieller Arbeits- und Produktionssysteme. Der industriellen Produktion steht dabei eine Vielzahl potenzieller KI-basierter Systeme zur Verfügung, von deren Einsatz ein Zugewinn an Effizienz und Produktivität erwartet wird. Die Einsatzmöglichkeiten reichen unter anderem von KI-basierten Assistenzsystemen über automatisierte Qualitätskontrollen bis hin zu Systemen zur Entscheidungsunterstützung. Mit der wachsenden Verfügbarkeit entsprechender Lösungen am Markt nimmt zugleich die Heterogenität der KI-Anwendungen stetig zu (von Garrel et al. 2022).

Mit der zunehmenden Vielfalt KI-basierter Angebote entstehen diverse Mensch-KI-Interaktionsformen. Der Einsatz von KI geht häufig mit einer Verschiebung von Arbeitstätigkeiten, Verantwortlichkeiten und Entscheidungslogiken einher und führt damit zu veränderten oder neuen Anforderungen an die Mitarbeitenden bei der Bewältigung des Arbeitsalltags (Proeck 2025). Infolgedessen ist die Nutzung von KI-Arbeitssystemen mit Auswirkungen auf die Arbeitsfähigkeit verbunden. Die Arbeitsfähigkeit beschränkt sich dabei nicht ausschließlich auf gesundheitliche Aspekte, sondern wird als ein ganzheitliches Konstrukt verstanden, das sich aus den

vier Kerndimensionen Gesundheit, Werte, Kompetenzen und Arbeit zusammensetzt (Ilmarinen 2019; Werens & von Garrel 2023). Vor dem Hintergrund des Zusammenspiels technischer und personeller Ressourcen, ist es bei der Einführung und Nutzung von KI in Unternehmen zentral, eine soziotechnische Perspektive einzunehmen: Es gilt sowohl technische als auch soziale Potenziale und Risiken systematisch zu berücksichtigen.

2. (KI-) Arbeitsfähigkeit im Produzierenden Sektor - Zielsetzung

Trotz der Notwendigkeit einer ganzheitlichen Betrachtung, wird der Einsatz KI-basierter Anwendungen im produzierenden Sektor im Hinblick auf die multidimensionale Arbeitsfähigkeit von Mitarbeitenden kaum untersucht. Eine erste qualitative Studie zeigt, dass KI-Systeme Auswirkungen auf die Arbeitsfähigkeit von Mitarbeitenden haben und dass diese Auswirkungen sich mit der Wahl des KI-Systems unterscheiden können (Jung et al. 2022; Werens & von Garrel 2023).

Aus diesem Grund wurde eine quantitative Studie mit über 800 Arbeitnehmenden konzipiert. Das Ziel der Studie bestand im Wesentlichen darin: (1) die wahrgenommene Arbeitsfähigkeit von Beschäftigten im produzierenden Sektor sowohl im Kontext der Nutzung KI-basierter Arbeitssysteme als auch im Falle einer Nicht-Nutzung von KI zu erfassen und dabei gleichzeitig (2) diverse Mensch-KI-Interaktionsformen zu berücksichtigen

3. Methodisches Vorgehen

Für die deutschlandweite Online-Befragung mit über 800 Arbeitnehmenden im produzierenden Sektor, wurde ein standardisiertes Messinstrument entwickelt, welches diverse validierte Skalen enthält. Ergänzend wurden KI-Szenarien generiert zu Erfassung möglicher Auswirkungen diverser KI-Systeme auf die Arbeitsfähigkeit.

3.1 Aufbau des Fragebogens & Messinstrumente

Der Fragebogen gliedert sich in vier zentrale Teilbereiche. Im ersten Teil werden wesentliche Merkmale der aktuellen Arbeitstätigkeit erfasst (u.a. Anteil körperlicher Arbeit & Tätigkeitsbereich). Der zweite Teil dient der Erhebung der allgemeinen Arbeitsfähigkeit und Arbeitssituation. Zur Messung der Arbeitsfähigkeit dient insbesondere der Work Ability Personal Radar (WAPR). Dieser basiert auf dem Konzept „Haus der Arbeitsfähigkeit“ und ermöglicht eine effektive Messung diverser Dimensionen der Arbeitsfähigkeit (Kompetenzen, Werte, Gesundheit, Arbeit) (Ilmarinen et al. 2015). Ergänzend wurde der Work Design Questionnaire (WDQ) verwendet. Der WDQ ist ein validiertes Instrument zur Erfassung zentraler Arbeitsmerkmale und zur Analyse und Gestaltung von Arbeit (Morgeson & Humphrey, 2006). Hervorzuheben ist, dass der WDQ inhaltliche Bezüge zu den Dimensionen der Arbeitsfähigkeit aufweist und somit eine sinnvolle Ergänzung ermöglicht.

Zur Erfassung von Einstellungen und Ressourcen wurde die Digitale Technologieakzeptanzskala (DTAS) nach Labor 2020, sowie der Utrecht Work Engagement Scale (UWES-9) integriert. Die ersten beiden Teile des Fragebogens bilden somit die Grundlage für die Beschreibung der aktuellen Arbeitsbedingungen und Arbeitsfähigkeit.

Der dritte Teil hebt die KI-Arbeitsfähigkeit hervor: Den Teilnehmenden wurden zwei Blöcke mit jeweils drei KI-Szenarien vorgestellt (Tabelle 1). Für jeden Block gaben die Befragten an, mit welchem Szenario sie sich am ehesten identifizieren. Anschließend folgten Fragen zum bevorzugten Szenario. Dabei kamen WAPR-Items zum Einsatz, die auf die Nutzung bzw. erwartete Nutzung des KI-Systems angepasst wurden. Ergänzend wurden modifizierte Skalen des Task-Technology-Fit (Lin & Huang 2008) genutzt, um Rückschlüsse über die Passung zwischen KI-Funktionen und Arbeitstätigkeit zu bilden. Da technikbezogene Stressoren gesundheitliche Belastungen darstellen können (Dragano et al. 2021), wurden ausgewählte Skalen der Digital Stressor Scale integriert, welche Kategorien wie etwa die Komplexität oder Befürchtungen adressieren (Riedl et al. 2022).

Im vierten Teil wurde abschließend die deutschsprachige Fassung des Big Five-Inventory (BFI-10) nach Rammstedt et al. 2014 verwendet, um potenzielle Zusammenhänge zwischen Persönlichkeitsmerkmalen und (KI-bezogener) Arbeitsfähigkeit zu prüfen.

3.2 KI-Szenarien-Erstellung

Um geeignete KI-Szenarien zu entwickeln, wurden Klassifizierungskriterien für KI-Arbeitssysteme und Mensch-KI-Interaktionen identifiziert. Klassifizierungsmerkmale können sich unter anderem in der Kontaktintensität (Dahm & Dregger 2019), der Art der Aufgabenerfüllung (Kong et al. 2023), des Risikospektrums (Fregin et al. 2020) sowie des Autonomiegrades (BMWi 2019; Hecker et al. 2017; SAE 2014) äußern. Insbesondere der Autonomiegrad wird häufig als zentrales Kriterium hervorgehoben, da sich mit diesem die Rolle des Menschen sowie Entscheidungs- und Verantwortungsanteile verändern. Für die Szenarienerstellung wurde ein komplexitätsreduzierendes Klassifizierungsschema entwickelt, das auf zwei Dimensionen basiert: der Interaktionsart und dem Autonomiegrad der KI. Die Interaktionsart unterscheidet sich insbesondere hinsichtlich der Zielerreichung und der direkten bzw. indirekten Zusammenarbeit (Onnasch et al. 2016). Während bei der Kollaboration (Block 1) Mensch und KI direkt zusammenarbeiten und ein gemeinsames Ziel verfolgen, arbeiten sie bei der Kooperation (Block 2) überwiegend getrennt und leisten arbeitsteilig Beiträge zu einem gemeinsamen Gesamtziel. Für jeden Block wurden die jeweils folgenden drei Szenarien erstellt:

Tabelle 1: *Darstellung der Szenarienauswahl der jeweiligen Blöcke.*

	Block 1: Kollaboration	***Block 2: Kooperation***
Szenario 1	*Erstellung von Texten oder Bildern (z.B. mit ChatGPT)*	*Prozessoptimierung durch KI-Anwendung im Hintergrund*
Szenario 2	*KI-Gestützte Bilderkennung (z.B. beim Schweißen)*	*Gemeinsame Montage durch KI*
Szenario 3	*Physische Unterstützung durch KI (z.B. KI-Exoskelett)*	*KI-basiertes autonomes Transportsystem*

4. Ergebnisse

4.1 Beschreibung der Stichprobe

An der Befragung nahmen insgesamt 812 Beschäftigte aus dem produzierenden Sektor teil. Die am häufigsten vertretene Altersgruppe waren die 50–59-Jährigen (31,3 %), gefolgt von den 40–49-Jährigen (26,0 %). 74,8 % (N = 607) der Befragten identifizierten sich als männlich, 25,1 % (N = 204) als weiblich und 0,1 % (N = 1) gab keine Geschlechtszugehörigkeit an. Der höchste Bildungsabschluss der Mehrheit der Teilnehmenden (42,9 %) ist eine abgeschlossene Berufsausbildung.

Hervorzuheben ist eine vergleichsweise lange Betriebszugehörigkeit in der Stichprobe: 29,3 % der Teilnehmenden berichten von einer Betriebszugehörigkeit von über 20 Jahren, gefolgt von der Kategorie 11–20 Jahre (28,1 %). Die Mehrheit der Teilnehmenden ist in großen Unternehmen beschäftigt (250–500 Mitarbeitende: 17,2 %; > 500 Mitarbeitende: 34,6 %), während 47 % der Befragten in kleinen und mittelständischen Unternehmen (unter 250 Mitarbeitende) tätig sind. Hierbei arbeitet über ein Viertel der Befragten im Bereich Metallerzeugung und -bearbeitung (Metallberufe). Insgesamt bildet die Stichprobe eine überwiegend männliche, alters- und betriebserfahrene Beschäftigtengruppe aus dem produzierenden Sektor ab, die mehrheitlich in größeren Unternehmen tätig ist.

4.2 KI-Nutzungsverhalten

Die Befragung verdeutlicht, dass die Teilnehmenden sich sowohl mit KI-Szenarien aus dem kollaborativen Block 1 (60,5%) als auch des kooperativen Blocks 2 (53,9%) identifizieren können. Am ehesten können sich die Teilnehmenden im Block 1 mit dem ersten Szenario (Erstellung von Texten oder Bildern z.B. mit ChatGPT) identifizieren (30,2%, N=245), gefolgt vom zweiten Szenario (gestützte Bilderkennung z.B. Schweißen) (15,9%, N=129) und dem dritten Szenario (Physische Unterstützung durch KI (z.B. KI-Exoskelett) (13,4%, N=109). 39,5% (N=315) der Befragten konnte sich beim Block 1 mit keinem Szenario identifizieren. Die tatsächliche Nutzung eines solchen oder ähnlichen KI-Systems am Arbeitsplatz erfolgte bei weniger als der Hälfte der Teilnehmenden (45,8%).

Beim zweiten Block geben 25,1% (N=201) der Teilnehmenden an, sich mit dem ersten Szenario (Prozessoptimierung durch KI-Anwendung im Hintergrund) identifizieren zu können, während 18,2% (N= 146) das zweite Szenario (Gemeinsame Montage durch KI) und 10,6% (N=85) das dritte Szenario (KI-basiertes autonomes Transportsystem) wählen. 46% (N=370) der Befragten konnte sich beim Block 2 mit keinem Szenario identifizieren. Die tatsächliche Nutzung eines solchen oder ähnlichen KI-Systems am Arbeitsplatz erfolgt nur bei 33,8% der Teilnehmenden.

Zusammenfassend zeigt sich, dass sich die Befragten in beiden Blöcken insbesondere mit generativen KI-Systemen identifizieren können. Bei weniger als der Hälfte der Befragten, wird ein KI-Tool auch tatsächlich am Arbeitsplatz verwendet.

4.3 Ausprägung der Arbeitsfähigkeit

Im Zentrum der Befragung stand die Erfassung des Status quo der Arbeitsfähigkeit. Hierzu wurde sowohl die allgemeine Arbeitsfähigkeit als auch die Arbeitsfähigkeit im Zusammenhang mit KI-Arbeitssystemen erhoben. Auf Basis der WAPR-Skalen zu den Dimensionen Werte, Kompetenzen, Gesundheit und Arbeit wurde eine übergeordnete

Skala zur Arbeitsfähigkeit gebildet. Die allgemeine Arbeitsfähigkeit (ohne expliziten KI-Bezug) weist auf einer fünfstufigen Likert-Skala einen Mittelwert von M = 3,59 (N = 812; SD = .66) auf und ist damit im mittleren bis hohen Bereich einzuordnen. Ergänzend wurde eine Kurzskala zur Selbsteinschätzung der Arbeitsfähigkeit generiert. Diese korreliert hoch mit der zusammengefassten WAPR-Skala (M = 3,61; N = 812; SD = .67; r = .73; p < .001) und deutet auf eine gute Übereinstimmung beider Erhebungsansätze hin. Über alle Befragten hinweg zeigte sich, dass höhere Ausprägungen der Dimensionen Kompetenzen, Werte, Arbeit und Gesundheit mit einer höheren allgemeinen Arbeitsfähigkeit einhergehen (r = .56; p < .001; R^2 = .32). Zudem bestand ein schwacher negativer Zusammenhang zwischen dem Anteil körperlicher Arbeit und der wahrgenommenen Arbeitsfähigkeit (r = −.112; p < .001), was darauf hindeutet, dass mit zunehmender körperlicher Arbeit die Arbeitsfähigkeit tendenziell geringer eingeschätzt wird.

Bezogen auf die KI-bedingte Arbeitsfähigkeit bewerten Personen, die bereits mit KI-Arbeitssystemen arbeiten, ihre Arbeitsfähigkeit unter KI-Einfluss als mittel bis hoch (Block 1: M = 3,51; SD = .75; Block 2: M = 3,66; SD = .68). Demgegenüber schätzen Teilnehmende, die sich zwar mit einem KI-Szenario identifizieren können, dieses jedoch nicht aktiv nutzen, ihre erwartete KI-bezogene Arbeitsfähigkeit etwas geringer ein (Block 1: M = 3,13; SD = .76; Block 2: M = 2,48; SD = .33). In Block 1 zeigten sich starke und hoch signifikante Zusammenhänge zwischen den einzelnen Dimensionen des WAPR und der wahrgenommenen Arbeitsfähigkeit (r = .53 bis r = .75; p < .001), sowohl bei KI-Nutzenden als auch bei Nicht-Nutzenden. Bis auf die Szenarien 2 und 3 im kollaborativen Block, ließen sich in dieser Erhebung allerdings keine wesentlichen Unterschiede in der Bewertung der Arbeitsfähigkeit in Bezug auf die Wahl des KI-Systems feststellen.

5. Diskussion & Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass sich viele Befragte grundsätzlich mit unterschiedlichen KI-Arbeitsszenarien identifizieren können, die tatsächliche Nutzung entsprechender Systeme im Arbeitsalltag jedoch deutlich geringer ist. Diese Diskrepanz deutet darauf hin, dass das Potenzial von KI in der industriellen Praxis bislang nur teilweise ausgeschöpft wird. Zudem verdeutlichen die Ergebnisse die Notwendigkeit, Arbeitsfähigkeit multidimensional zu betrachten, da Unterstützungsmaßnahmen in allen vier Dimensionen einen wesentlichen Beitrag zur Arbeitsfähigkeit leisten können.

Das entwickelte Messinstrument, das etablierte Skalen mit szenariobasierten KI-Vignetten kombiniert, bietet eine fundierte Grundlage zur Untersuchung der Arbeitsfähigkeit und möglicher Einflussfaktoren. Die Studie stellt damit eine solide empirische Basis für zukünftige Forschung dar und ermöglicht evidenzbasierte Handlungsempfehlungen zur Gestaltung arbeitsfähigkeitsförderlicher KI-Arbeitswelten. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten darüber hinaus auch das Resilienzkonstrukt berücksichtigen, da resilienzbezogene Aspekte dieser Studie (u. a. Autonomie und soziale Unterstützung) das Potenzial besitzen, die Arbeitsfähigkeit im KI-gestützten Arbeitskontext positiv zu beeinflussen. Vor diesem Hintergrund erscheint eine integrative Betrachtung beider Konstrukte besonders vielversprechend.

6. Literaturverzeichnis

BMWi (2019) Technologieszenario "Künstliche Intelligenz in der Industrie 4.0". Berlin: Plattform Industrie4.0

Dahm, M., & Dregger, A. (2019). Der Einsatz von künstlicher Intelligenz im HR: Die Wirkung und Förderung der Akzeptanz von KI-basierten Recruiting-Tools bei potenziellen Nutzern. Arbeitswelten der Zukunft: Wie die Digitalisierung unsere Arbeitsplätze und Arbeitsweisen verändert, 249-271.

Dragano, N., Riedel-Heller, S. G., & Lunau, T. (2021). Haben digitale Technologien bei der Arbeit Einfluss auf die psychische Gesundheitt? Der Nervenarzt, 92(11), 1111-1120.

Fregin, M.-C., Levels, M., de Grip, A., Montizaan, R., & Kensbock, J. (2020). Künstliche Intelligenz: Ein sozialpartnerschaftliches Forschungsprojekt untersucht die neue Arbeitswelt. IBM Deutschland GmbH und Vereinte Dienstleistungsgewerkschaft ver.di. ROA External Reports

Hecker, D., Döbel, I., Petersen, U., Rauschert, A., Schmitz, V., & Voß, A. (2017). Zukunftsmarkt Künstliche Intelligenz. Potenziale und Anwendungen. Fraunhofer-Allianz Big Data. St. Augustin: Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI & Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS. https://doi.org/10.24406/publica-fhg-299119

Ilmarinen, J. (2019). From work ability research to implementation. International journal of environmental research and public health, 16(16), 2882.

Ilmarinen, V., Ilmarinen, J., Huuhtanen, P., Louhevaara, V., & Näsman, O. (2015). Examining the factorial structure, measurement invariance and convergent and discriminant validity of a novel self-report measure of work ability: work ability–personal radar. Ergonomics, 58(8), 1445-1460.

Jung, M., Werens, S., & von Garrel, J. (2022). Vertrauen und Akzeptanz bei KI-basierten, industriellen Arbeitssystemen: Eine qualitative Analyse. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, *117*(11), 781-783.

Lin, T. C., & Huang, C. C. (2008). Understanding knowledge management system usage antecedents: An integration of social cognitive theory and task technology fit. Information & Management, 45(6), 410–417.

Morgeson, F. P., & Humphrey, S. E. (2006). The Work Design Questionnaire (WDQ): developing and validating a comprehensive measure for assessing job design and the nature of work. Journal of applied psychology, 91(6), 1321.

Onnasch, L., Maier, X., & Jürgensohn, T. (2016). Mensch-Roboter-Interaktion-Eine Taxonomie für alle Anwendungsfälle (p. 5). Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Rammstedt, B., Kemper, C. J., Klein, M. C., Beierlein, C., & Kovaleva, A.(2014). Big Five Inventory (BFI-10). Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen (ZIS). https://doi.org/10.6102/zis76

Riedl, R., Fischer, T. & Reuter, M. Fragebogen zur Messung von digitalem Stress im Arbeitskontext. Wirtsch Inform Manag 14, 262–272 (2022). https://doi.org/10.1365/s35764-022-00418-2

SAE - Society for Automotive Engineers (2014): Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. https://www.sae.org/standards/content/ j3016_201401/

von Garrel, J., Jahn, C., & Schröter, D. (2022). Der Einsatz Künstlicher Intelligenz in produzierenden Unternehmen: Eine Morphologie industrieller, KI-basierter Arbeitssysteme. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 117(5), 338-343.

von Proeck, D. (2025). Die Organisation der Zukunft: Mensch und KI im Zusammenspiel. In KI mit Köpfchen: Mit ChatGPT & Co. zum zukunftsfähigen Unternehmen (pp. 239-255). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Werens, S., & von Garrel, J. (2023). Implementation of artificial intelligence at the workplace, considering the work ability of employees. TATuP-Journal for Technology Assessment in Theory and Practice, 32(2), 43-49.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundes-ministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen02L19C157 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Flexibilisierung vs. Souveränität. Die Debatte um Arbeitszeit und ihre Bedeutung für die Zukunft menschengerechter Arbeit

Norma TIEDEMANN

Fachbereich 01, Promotionskolleg JUST, Universität Kassel
Arnold-Bode-Straße 10, D-34127 Kassel

Kurzfassung: Auseinandersetzungen um Arbeitszeit prägen moderne Arbeitsgesellschaften. Aktuell wird über Flexibilisierung gestritten, denn die CDU/CSU/SPD-Koalition will die Tages- durch eine Wochenhöchstgrenze ersetzen. Die prägenden Schlagworte werden von verschiedenen Akteur:innen genutzt und im Diskurs mit konkreten Inhalten verknüpft. Basierend auf vier Bundestagsdebatten verfolgt der Beitrag dieses politische Ringen. Orientiert am Verfahren der qualitativen Inhaltsanalyse wird nach der diskursiven Rahmung von „Flexibilisierung“ und „Zeitsouveränität“ gefragt. Das Konfliktfeld Arbeitszeit, so wird deutlich, ist von starken Interessensgegensätzen geprägt, die unterschiedliche gesellschaftliche Projekte verfolgen. Welches sich durchsetzt, hat erheblichen Einfluss auf das Ideal menschengerechter Arbeit.

Schlüsselwörter: Flexibilisierung, Zeitsouveränität, Arbeitszeit, Gewerkschaften

1. Einleitung

Die Geschichte der modernen Lohnarbeitsgesellschaft lässt sich als eine Geschichte von Auseinandersetzungen über die Länge und Lage von Arbeitszeit begreifen. In Deutschland wird derzeit vor dem Hintergrund einer andauernden Rezession wieder hitzig über die Gestaltung von Arbeitszeit gestritten. Im Fokus steht die Abschaffung der gesetzlichen Tageshöchstgrenze und damit des 8-Stunden-Arbeitstags unter dem Schlagwort der Flexibilisierung. Dank zahlreicher Ausnahmen im Arbeitszeitgesetz gilt dieser zwar längst nicht flächendeckend, bleibt als politische Norm jedoch Ankerpunkt der Arbeitszeitgestaltung. Die Regierungskoalition aus CDU/CSU/SPD möchte eine alleinige Wochenhöchstgrenze festlegen, gültig wären dann im Einklang mit der EU-Arbeitszeitrichtlinie 2003/88/EG 48 Stunden pro Woche – das ermöglicht Schichten von über 12 Stunden pro Tag mit nachfolgendem Ausgleich. Unterstützt wird die Regierung von Arbeitgeber- und Industrieverbänden (bspw. Gesamtmetall 2023). Teile der Opposition und die Gewerkschaften lehnen das Vorhaben ab. In der Debatte scheinen unversöhnliche Verständnisse von Arbeitszeit und ihrer Regulierungsnotwendigkeit aufeinanderzutreffen. Befürworter:innen und Gegner:innen der Reform streiten insbesondere über die Bedeutung der Schlagworte „Flexibilisierung“ und „Zeitsouveränität“. Während alle beteiligten Akteur:innen behaupten, nur das Beste für die Allgemeinheit zu wollen, verbirgt sich dahinter ein politisches Kräftemessen, dessen Verlauf Konsequenzen für das Ideal menschengerechter Arbeit hat.

2. Datenbasis

Um einen Einblick in die aktuellen Deutungsangebote rund um die Begriffe Flexibilisierung und Zeitsouveränität zu gewinnen, werte ich vier Bundestagsdebatten von insgesamt 170 Minuten Länge aus. Es handelt sich dabei jeweils um die 1. sowie die 2./3.Lesung zweier Anträge zum Thema. Am 14.März und 06.Juni 2024 diskutierte das Parlament über den Antrag der CDU/CSU-Fraktion „Arbeitszeit flexibilisieren – Mehr Freiheit für Beschäftigte und Familien“, am 4.Juni und 17.Oktober 2025 über den Antrag der Fraktion Die Linke „Finger weg vom Achtstundentag – Wöchentliche Höchstarbeitszeit absenken“. Beide Anträge wurden abgelehnt. Zwischen den beiden Ereignissen liegt die Neuwahl der Bundesregierung und der Beschluss eines Koalitionsvertrages zwischen CDU/CSU und SPD, der u.a. die Abschaffung der Tageshöchstgrenze im Arbeitszeitgesetz vorsieht. Ausgewertet wurde im Sinne der Qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring & Fenzl 2019) mithilfe einer induktiven Kategorienbildung orientiert an der Fragestellung: Wie werden die Konzepte „Flexibilisierung“ und „Zeitsouveränität“ diskursiv gerahmt, d.h. mit welchen anderen Diskursen werden die Begriffe verknüpft und mit welchen diskursiven Strategien die eigenen Positionen untermauert?

3. Flexibilisierung, Zeitsouveränität und das Ideal menschengerechter Arbeit

3.1 Entstehung der Diskussion in den 1970ern: Zeitsouveränität durch Flexibilität

Die Forderung nach Flexibilisierung erhoben im 20.Jahrhundert nicht ausschließlich Arbeitgebervertreter:innen. Ende der 1970er Jahre wurde innerhalb des DGB eine Debatte über eine flexiblere Arbeitszeitgestaltung angestoßen (Seifert 2019: 431), u.a. durch Beiträge, die „Zeitsouveränität durch flexible Arbeitszeit“ als ein zu erkämpfendes, anspruchsvolles Projekt der Humanisierung der Arbeitswelt vorstellten (Teriet 1979). Über die Jahre wurde die innergewerkschaftliche Debatte, samt kritischer Einwürfe aus der Frauenabteilung des DGB (Kurz-Scherf 1987), kontrovers geführt. Sie mündete 1990 in der Programmatik einer „modernen Normalarbeitszeit“ mit individuellen Wahlmöglichkeiten (Gruber & Horstmann 2025: 57). Unter dem Banner der Zeitsouveränität forderten die Gewerkschaften eine Flexibilisierung von Arbeitszeit.

Von Beginn hat wies das Schlagwort der Flexibilisierung dabei einen großen Interpretationsspielraum auf: „Er stand einerseits für die Realisierung von Zeitsouveränität und Selbstbestimmung der Beschäftigten, andererseits für Deregulierungen im Sinne der Arbeitgeber:innen und somit für die Ausweitung ungesicherter Arbeitsverhältnisse“ (Gruber & Horstmann 2025: 71, vgl. Seifert 2019).

Die Offenheit und Vieldeutigkeit des Begriffs Flexibilisierung macht die Analyse des politischen Ringens um den genauen Begriffsgehalt solcher Schlagworte interessant. „Welche Akteur:innen benutzen [sie] zu welchem Zeitpunkt mit welcher Intention? Welche Bedeutung [wird ihnen] zugeschrieben?“ (Gruber & Horstmann 2025: 58). Ein Verständnis der Begriffsverwendungen ist relevant, da darauf basierend Arbeitsverhältnisse und damit Gesellschaft gestaltet werden soll. In der Arbeitswissenschaft hat sich ein differenziertes Verständnis von Flexibilität etabliert, das hilft, die politischen Diskurse zu ordnen.

3.2 Gesundheit & Wohlbefinden im Zusammenhang mit Arbeit(szeitflexibilisierung)

Die Bundesagentur für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) unterscheidet zwei Formen von Flexibilität, die unterschiedliche Auswirkungen auf die Gesundheit und Zufriedenheit von Beschäftigten haben.

An einem Ende des Spektrums steht eine autonom von den Beschäftigten bestimmte Flexibilität, die sich nach den Erholungs- oder Vereinbarkeitsbedürfnissen der Erwerbstätigen richtet. Diese Form der Arbeitszeitgestaltung wird häufig als Zeitsouveränität bezeichnet. Am anderen Ende steht eine Flexibilität, die durch Arbeitgeber:innen bzw. Betriebserfordernisse bestimmt wird und sich als Flexibilitätsanforderung gegenüber den Einzelnen zum Ausdruck bringt. Damit einher gehen schwindende Planbarkeit, reduzierte Möglichkeiten zum mentalen Abschalten und weniger Ruhephasen. Die BAuA kommt immer wieder zu dem Schluss, dass Formen dieser Variante ein Gesundheitsrisiko darstellen (Beermann et al. 2019).

Lange Arbeitszeiten erhöhen das Unfallrisiko, ermüden chronisch und wirken sich negativ auf die Herzgesundheit aus. Neben den physischen und psychischen Belastungen beeinträchtigen einseitige Flexibilitätsanforderungen auch das soziale Leben und das subjektive Wohlbefinden von Beschäftigten (Arlinghaus 2024: 436, Nold & Wöhrmann 2023: 103). Stress durch Arbeitsverdichtung, Unterbrechungen und ausufernde Arbeitszeiten gelten vielfach als verursachende Faktoren für den Ausfall von Arbeitskraft (Rothe et al. 2017). Dagegen gilt Arbeitszeitsouveränität, also die „Möglichkeit, die Arbeitszeiten an persönliche Vorlieben anzupassen, […] allgemein als eine Ressource […], die dazu beitragen kann, die allgemeine Work-Domain-Balance zu verbessern“ (Arlinghaus 2024: 439, vgl. Nold & Wöhrmann 2023: 102f.).

Das spiegelt sich in den Wünschen vieler Beschäftigter: Die meisten, insbesondere jene, die in Vollzeit arbeiten, wollen weniger Wochenarbeitsstunden (Backhaus & Vieten 2023: 55). Viele leiden bereits heute unter der einseitig abverlangten Flexibilität (Lott & Windscheid 2023). Laut Daten der Krankenkassen ist über die letzten Jahrzehnte ein kontinuierlicher Anstieg von Diagnosen psychischer Erkrankungen zu verzeichnen, der sich in den Statistiken zu Krankschreibungen und Erwerbsminderungsrenten widerspiegelt. Ein stetig steigender Anteil von Arbeitsunfähigkeitstagen geht auf psychische Erkrankungen mit langer Dauer zurück (Techniker Krankenkasse 2025, S. 22). Fast 40 Prozent aller neuen Erwerbsunfähigkeitsrenten gehen jedes Jahr auf psychische/psychosomatische Erkrankungen zurück (Deutsche Rentenversicherung 2025).

Welche Form von Arbeitszeitgestaltung sich durchsetzt, hat also erhebliche Auswirkungen auf das Ideal menschengerechter Arbeit, die nicht nur physisch, sondern auch psychisch gesund erhält.

4. Auswertung der vier Bundestagsdebatten

Wie werden die Konzepte „Flexibilisierung“ und „Zeitsouveränität“ nun in den Bundestagsdebatten diskursiv gerahmt und somit inhaltlich ausgestaltet?

Der Einfachheit halber teile ich für die Analyse der diskursiven Setzungen das Debattenfeld in Befürworter:innen der Flexibilisierung von Arbeitszeit im Sinne einer Abschaffung der Tageshöchstgrenze und Gegner:innen. Zudem greife ich nur wenige, aber aussagekräftige Momente der Diskussionen heraus.

Alle Akteur:innen kreisen um zentrale Konzepte, die sie mit der Frage der Flexibilisierung von Arbeitszeit verknüpfen. Dabei wird deutlich, dass hier

verschiedene Vorstellungen über die Bedeutung von Arbeit und die Rolle von Politik in der Gestaltung von Arbeitsverhältnissen aufeinandertreffen.

4.1 Ein Anschlag auf die Freiheit?

Auffällig ist die diskursive Rahmung der Debatte als Entscheidung über Freiheit und Selbstbestimmung. Starke Gegensatzpaare teilen dabei den diskursiven Raum in ein dichotomes Schwarz-Weiß: Bevormundung, Kontrolle, Starrheit auf der einen und Autonomie, Eigenverantwortung, Freiheit auf der anderen Seite. In den Worten von Sandra Carstensen (CDU/CSU): „Vertrauen statt Vorschriften, Gestaltungsspielraum statt Gängelung und Flexibilität statt Fließbandlogik“ (17.10.2025). Infrage steht dabei, ob ein Gesetz als freiheitseinschränkender staatlicher Eingriff in die privaten Beziehungen der Menschen als Beschäftigte und Arbeitgeber:innen oder als notwendiger Schutz und Ausgleich in einem von Hierarchien geprägten Feld anzusehen ist: „Wollen wir den Menschen weiter etwas verbieten, wollen wir sie kontrollieren, wollen wir sie sanktionieren? Oder wollen wir eine Stimmung auf dem Arbeitsmarkt in diesem Land schaffen, die […] den Menschen mehr Freiheiten gibt […]?" (Jana Schimke, CDU/CSU, 14.03.2024). Die Gegner:innen kritisieren die damit verbundenen Ansichten über Gesellschaft und sprechen von einem „verdammt kalte[n] Begriff von Freiheit“ (Jan Dieren, SPD, 14.03.2024). Eine Deregulierung sei das Gegenteil, ein „Anschlag auf die Freiheit“ (Janine Wissler, Die Linke, 14.03.2024). Das eigene Freiheitsverständnis wird demgegenüber durch die Verknüpfung mit Souveränität und Selbstbestimmung gefüllt: „Es braucht ganz klar mehr Selbstbestimmung, mehr Arbeitszeitsouveränität für Beschäftigte“ (Anne Zerr, Die Linke, 17.10.2025) und „[w]ir wollen […] darüber diskutieren, […] wie die Leute tatsächlich mehr und besser über ihre Arbeitszeiten selbst bestimmen können" (Jan Dieren, SPD, 04.06.2025).

4.2 Fortschritt oder Rolle rückwärts?

Nah verwandt mit der Freiheitsdiskussion ist das diskursive Feld des Fortschritts. Diejenigen, die eine Abschaffung der Tageshöchstgrenze bevorzugen, nutzen den Verweis zumeist als Sachzwang-Argument: Die digitale, moderne Arbeitswelt mache es notwendig, flexible Arbeitszeiten zu ermöglichen. Ein Nicht-Handeln wird mit drohendem Rückschritt und dem Verlust von Wettbewerbsfähigkeit als unbedingt zu vermeiden gesetzt. Zukunftsgerecht sei es daher, die Wirtschaft von engen Fesseln zu befreien und die alten, starren Regeln zu überwinden: "Unser Arbeitszeitgesetz gilt seit 1994. Aber seitdem hat sich in der Gesellschaft eine ganze Menge verändert" (Mareike Lotte Wulf, CDU/CSU, 06.06.2024). Ähnlich argumentiert Nora Seitz, CDU/CSU: „Die traditionellen Arbeitszeitmodelle, geprägt vom starren und veralteten Achtstundentag, entsprechen leider nicht mehr den Anforderungen an eine moderne und anpassbare Gesellschaft“ (04.06.2025).

4.3 Harmonie oder Konflikt?

Interessant ist das Bild, das die Akteur:innen von der grundsätzlichen Struktur der Gesellschaft und den Beziehungen der Arbeitswelt evozieren. Die Befürworter:innen von Arbeitszeitderegulierung gehen von Kooperation und gegenseitiger Abhängigkeit zwischen Arbeitnehmer:innen und Arbeitgeber:innen aus, die eine Kommunikation auf Augenhöhe zulassen. Gegner:innen verweisen auf das Machtungleichgewicht und

werfen der CDU/CSU vor, auf der Seite der Unternehmen zu stehen und Politik „für die Chefetagen“ zu machen: Arbeitgeber „pressen den arbeitenden Menschen aus wie eine Zitrone. Die Superreichen müssen dagegen dank Ihrer Politik keine Abstriche machen“ (Anne Zerr, Die Linke 04.06.2025). Insbesondere SPD, Grüne und Linkspartei beziehen sich immer wieder auf die Positionen der Gewerkschaften bzw. aktuelle Arbeitskämpfe. Sie werden durch die CDU/CSU damit konfrontiert, ein verzerrtes Bild ausbeutender Unternehmer:innen zu zeichnen: "Arbeitgeber […] gehen behutsam mit ihren Arbeitnehmern um, weil sie wissen, dass sie das wichtigste Element in ihren Betrieben sind" (Wilfried Oellers, CDU/CSU, 04.06.2025). Unternehmer, so auch Nora Seitz, CDU/CSU „stehen an der Seite ihres Personals, mit ihm in einer Reihe und machen nicht eher Feierabend“ (04.06.2025). Während die einen also eine potenzielle Interessenskongruenz betonen, unterstreichen die anderen eine Unvereinbarkeit von Interessen, deren Träger:innen zudem in einem asymmetrischen Machtverhältnis zueinander stehen.

4.4 „Wir erfüllen die Wünsche der Beschäftigten“

Eine von allen genutzte diskursive Strategie ist die fiktive anekdotische Evidenz, bei der konkrete Personen als Zeug:innen aufgerufen werden. Im Bundestag wimmelt es dann sprachlich von diesen prototypischen Menschen, die entweder unter einer starren oder unter einer entgrenzten Arbeitszeit leiden. Jan Dieren von der SPD bindet in einer Rede Svenja, die Pflegerin, als fiktive Dialogpartnerin in die Debatte ein: „wenn Svenja dann nach Hause kommt, ist sie fertig, ausgelaugt und überarbeitet, wie sie sagt, kann sich nur noch aufs Sofa setzen. […] Und Sie wollen Svenja jetzt sagen: „Was du brauchst, sind flexiblere Arbeitszeiten“? Was, glauben Sie, würde Svenja Ihnen erzählen?" (06.06.2024). Wilfried Oellers von der CDU/CSU lässt bspw. eine erziehungsberechtige Person sprechen: „Ich möchte Familie und Beruf miteinander vereinbaren, will morgens von acht bis eins arbeiten, während die Kinder in der Kita oder in der Schule sind, will den Nachmittag mit den Kindern verbringen, wenn sie zu Hause sind, und will mich abends noch mal von acht bis elf Uhr hinsetzen“ (14.03.2024). Ausnahmslos alle berufen sich also immer wieder auf die Wünsche der Beschäftigten, die sie zu repräsentieren in Anspruch nehmen. Die Gegner:innen zitieren Statistiken zu unbezahlten Überstunden und diverse Umfragen, denen zufolge Beschäftigte nicht nach 18 Uhr und insgesamt weniger und selbstbestimmter arbeiten wollen, sie sich also Zeitsouveränität wünschen, die auch eine flexible Arbeitszeitgestaltung umfasst. Auch die Befürworter:innen beziehen sich, allerdings deutlich weniger, auf Studien zu den Flexibilitätswünschen von Erwerbstätigen. In ihren Aussagen werden diese zudem zumeist mit den Wünschen von Unternehmer:innen verknüpft oder als übereinstimmend bezeichnet.

5. Diskussion

Die Auswertung hat aufgrund ihres kleinen Materialkorpus begrenzte Aussagekraft. Zudem mussten die Zwischentöne, gerade von der SPD, die durch den Regierungswechsel ihren Widerstand gegen Arbeitszeitderegulierung aufgab und nun für eine sozialpartnerschaftlich gerahmte Reform plädiert, unbeachtet bleiben. Es zeigt sich dennoch, dass das Thema Arbeitszeit eine deutliche politische Polarisierung aufweist und die beteiligten Akteur:innen darum ringen, ihre Deutung der zentralen Schlagworte durchzusetzen. Flexibilität und Zeitsouveränität sind dabei prinzipiell für

alle positive Bezugspunkte, werden jedoch durch bestimmte diskursive Setzungen, Verknüpfungen und Strategien mit jeweils ganz anderen Bedeutungen aufgeladen. Aus arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen abgeleitete Maßnahmen zur menschengerechten Gestaltung von Arbeit in Bezug auf die Dauer, Lage und Verteilung werden in erster Linie von den Gegner:innen der Reform des Arbeitszeitgesetzes angeführt. Die Befürworter:innen setzen dagegen auf Sachzwangargumente und verknüpfen die Beibehaltung der Tageshöchstgrenze mit Rückschrittlichkeit und einem Abwürgen von Freiheit. Es handelt sich damit nicht bloß um eine Debatte über eine isolierte politische Maßnahme, sondern ein Kräftemessen zwischen verschiedenen gesellschaftlichen Projekten.

Die derzeitige Diskussion um Arbeitszeitflexibilisierung weist nicht in Richtung einer Humanisierung von Arbeitszeitregelungen. Wahrscheinlich ist, dass es mit einer Abschaffung der Tageshöchstzeit zu einer weiteren „Verbetrieblichung“ (Bispinck 2016) der Arbeitszeiten kommt. Statt universell gültiger Rechtsansprüche wird eine Individualisierung und Fragmentierung vorangetrieben, die die Organisierung von Beschäftigten schwächt und das Ungleichgewicht weiter zugunsten der Arbeitgeber kippen lässt.

6. Literatur

Arlinghaus A (2024) Arbeitszeitgestaltung in Wissenschaft und Praxis. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 78, 436–446.

Backhaus N, Vieten L (2023) Länge der Arbeitszeit. In: Arbeitszeitreport Deutschland: Ergebnisse der BAuA-Arbeitszeitbefragung 2021. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), 28-56.

Beermann B, Backhaus N, Tisch A, Brenscheidt F (2019) Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zu Arbeitszeit und gesundheitlichen Auswirkungen. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA).

Bispinck R (2016) Arbeitszeit – Was bietet der tarifvertragliche Instrumentenkoffer? Eine Analyse von 23 Branchen und Tarifbereichen, Elemente qualitativer Tarifpolitik Nr. 82, Hans-Böckler-Stiftung.

Deutsche Rentenversicherung (2025) Renten wegen verminderter Erwerbsfähigkeit nach SGB VI.

Gesamtmetall (2023) Gutachten zum Arbeitszeitrecht und zur Arbeitszeiterfassung, 07.02.2023.

Gruber S, Horstmann A (2025) "Arbeitszeiten à la carte". Gewerkschaftliche Flexibilisierungsdebatten zwischen Deregulierung und Selbstbestimmung. In: Andresen K, Birke P, Gruber S, Horstmann A, Mayer-Ahuja N (Hrsg.): Arbeiten um zu leben! Zur Geschichte und Aktualität des Kampfes um Arbeitszeiten. Frankfurt: Campus Verlag, 57–76.

Kurz-Scher I (1987) Zeitzwänge, Zeitsouveränität: Teilzeitarbeit. In: Kurz-Scherf I, Breil G (Hrsg.) (1987): Wem gehört die Zeit. Ein Lesebuch zum 6-Stunden-Tag. Hamburg: VSA-Verlag, 171-181.

Mayring P, Fenzl T (2019) Qualitative Inhaltsanalyse. In: Baur N, Blasius J (Hrsg.): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Springer VS, Wiesbaden.

Nold J, Wöhrmann AM (2023) Flexibilität der Arbeitszeit. In: Arbeitszeitreport Deutschland: Ergebnisse der BAuA-Arbeitszeitbefragung 2021. 2. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), 77-103.

Rothe I, Adolph L, Beermann B, Schütte M, Windel A, Grewer A (2017) Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt. Wissenschaftliche Standortbestimmung: Forschung Projekt F 2353. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA).

Seifert H (2019) Wie viel Zeitautonomie bieten flexible Arbeitszeiten? In: WSI 72 (6), 431-439.

Techniker Krankenkasse (2025) Gesundheitsreport. Arbeitsunfähigkeiten.

Teriet B (1976) „Zeitsouveränität" durch flexible Arbeitszeit. In: Aus Politik und Zeitgeschichte (APuZ) 31, Bundeszentrale für Politische Bildung.

Die Erwerbsteilhabe von Beschäftigten mit Behinderungen im Spiegel von Arbeitsbedingungen – Auswertungen auf Basis der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung

Sophie TEBORG, Alper EKER, Vanessa VEGNER, Lena HÜNEFELD

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund

Kurzfassung: Beschäftigte mit Behinderungen sind am allgemeinen Arbeitsmarkt noch immer benachteiligt. Um ein tiefergehendes Verständnis über ihre Arbeitssituation zu erlangen, wurden Auswertungen mit der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2024 sowie mit einem verknüpften Datensatz aus der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018 und der BIBB-Nachbefragung Menschen mit Behinderung 2019 vorgenommen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Arbeitssituation behinderter Beschäftigter einem komplexen Wechselspiel von (rechtlichen) Rahmenbedingungen, Arbeitsanforderungen und Ressourcen sowie individuellen Bedürfnissen und Wahrnehmungen unterliegt. Für eine inklusive Arbeitsgestaltung ist es erforderlich, diese Komponenten zusammen zu betrachten und unter Berücksichtigung der Realisierung von Teilhabe aufeinander abzustimmen.

Schlüsselwörter: Teilhabe, Inklusive Arbeitsgestaltung, Barrierefreiheit, Beschäftigte mit Behinderung

1. Einleitung

Behinderte Menschen erleben am allgemeinen Arbeitsmarkt nach wie vor viele Hürden. Das aktuelle Inklusionsbarometer Arbeit weist im Vergleich zum Vorjahr eine erneute Verschlechterung ihrer Beschäftigungssituation aus (Aktion Mensch 2025). Vor diesem Hintergrund gewinnt die inklusive Gestaltung von Arbeitsbedingungen an zentraler Bedeutung: Sie trägt dazu bei, die langfristige Erwerbsbeteiligung von Menschen mit Behinderungen zu sichern und schafft zugleich neue Zugänge, indem sie für arbeitssuchende Menschen mit Behinderungen das Spektrum möglicher Arbeitsplätze vergrößert und für Unternehmen das Angebot an potenziellen Arbeitskräften erweitert. Die Umsetzung inklusiver Arbeitsgestaltung setzt ein Verständnis darüber voraus, unter welchen Bedingungen behinderte Beschäftigte gut arbeiten können. Für differenzierte Einblicke hierzu ist es notwendig, die Komplexität von Behinderungen zu berücksichtigen. Einen zentralen theoretischen Rahmen bietet das *bio-psycho-soziale Modell* der Internationalen Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit (Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information [DIMDI] 2005). In diesem Modell wird Behinderung als Ergebnis von Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Komponenten verstanden. Ausschlaggebend ist dabei nicht allein das Vorliegen eines dauerhaften Gesundheitsproblems, sondern vielmehr die daraus entstehenden Beeinträchtigungen in unterschiedlichen Lebensbereichen. Je nach persönlichen Voraussetzungen und Umweltbedingungen kann es durch ungünstige Wechselwirkungen zwischen diesen Faktoren und dem Gesundheitsproblem zu

Einschränkungen der Körperfunktionen- und -strukturen, der Alltagsaktivitäten und/oder der gesellschaftlichen Teilhabe kommen.

Eine Behinderung lässt sich als komplexes relationales Konstrukt verstehen, das aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Perspektiven untersucht werden kann. Bei der Erforschung von Behinderung im Arbeitskontext sind individuelle, organisationale und gesellschaftliche Einflussfaktoren relevant, die in wechselseitiger Beziehung stehen (Lederer et al. 2014). Die Analyse von Arbeitsbedingungen kann entsprechend verschiedene Perspektiven einbeziehen. Eine zentrale Perspektive bildet der sozialrechtliche Rahmen, innerhalb dessen Behinderungen gemäß den Kriterien des Sozialgesetzbuchs IX definiert werden. Dadurch lassen sich die Arbeitsbedingungen behinderter Beschäftigter im rechtlichen Kontext erfassen; jedoch bleibt die subjektive Wahrnehmung von Behinderung hierbei weitgehend unberücksichtigt. Um das individuelle Erleben von Betroffenen einzubeziehen, bedarf es daher ergänzend subjektiver Einschätzungen zu wahrgenommenen Einschränkungen im Arbeitsalltag.

Der Beitrag beleuchtet Behinderung im Arbeitskontext daher sowohl aus sozialrechtlicher als auch aus individueller Perspektive. Zunächst werden Unterschiede in den Arbeitsbedingungen von Beschäftigten mit unterschiedlich hohem Grad der Behinderung (GdB) dargestellt. Anschließend werden Auswertungen zu den Zusammenhängen zwischen Arbeitsbedingungen und dem subjektiven Erleben von Einschränkungen im Arbeitsalltag bei behinderten Beschäftigten präsentiert.

Die Auswertungen erfolgten in Anlehnung an das *Job Demands-Resources Model* (JD-R Model) (Demerouti et al. 2001; Bakker & Demerouti 2017), welches eine wichtige Grundlage für die Untersuchung der Arbeitssituation und ihren Auswirkungen auf das Wohlbefinden und die Gesundheit von Beschäftigten darstellt. Es unterscheidet Arbeitsbedingungen in Arbeitsanforderungen und Ressourcen. Als Anforderungen gelten jene körperlichen, psychischen, sozialen oder organisatorischen Aspekte einer Tätigkeit, die erhöhte Anstrengung erfordern und mit psychischen oder körperlichen Kosten verbunden sein können (Bakker & Demerouti 2017). Ressourcen hingegen bezeichnen Bedingungen, die dazu beitragen, arbeitsbezogene Ziele zu erreichen, Anforderungen oder deren Folgen abzumildern und die persönliche Entwicklung von Beschäftigten zu fördern (ebd.). Nach dem JD-R Model führen hohe Arbeitsanforderungen häufig zu Erschöpfung und Stress, während Ressourcen das Wohlbefinden der Beschäftigten steigern können (Demerouti et al. 2001).

2. Arbeitsbedingungen von Beschäftigten mit unterschiedlichem Grad der Behinderung

In der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2024 (Lück et al. 2024) konnten Beschäftigte angeben, ob sie eine amtlich anerkannte Behinderung haben und wie hoch der anerkannte Grad der Behinderung ist (GdB).

Der GdB ist ein sozialrechtliches Maß darüber, wie stark eine Person aufgrund einer dauerhaften gesundheitlichen Beeinträchtigung in ihrer gesellschaftlichen Teilhabe eingeschränkt ist. Die Festlegung des GdB erfolgt in einem behördlichen Verfahren, bei dem die Bewertung in Zehnerschritten zwischen 20 und 100 vorgenommen wird. Wird ein GdB von mindestens 50 festgestellt, gilt die betreffende Person nach § 2 Abs. 2 des Neunten Sozialgesetzbuchs (SGB IX) als schwerbehindert. Damit verbunden sind verschiedene Rechte, unter anderem der Anspruch auf eine behinderungsgerechte Beschäftigung (§ 164 SGB IX).

Bei einem Vergleich der Arbeitsbedingungen von Beschäftigten mit einem GdB von

mindestens 50 und denjenigen mit einem GdB von unter 50 werden einige Unterschiede deutlich (Teborg et al. 2025). Dabei zeigt sich, dass Beschäftigte mit einem GdB von unter 50 tendenziell häufiger bestimmte körperliche und psychische Arbeitsanforderungen angeben als Beschäftigte mit einem GdB von mindestens 50. Dazu gehören sowohl körperliche Arbeitsanforderungen, wie das Arbeiten im Stehen (54 % vs. 45 %) oder das Heben und Tragen schwerer Lasten (21 % vs. 15 %), als auch Merkmale der Arbeitsintensität, wie starker Termin- oder Leistungsdruck (47 % vs. 41 %) oder Multitasking (65 % vs. 54 %). Gleichzeitig fühlen Beschäftigte mit einem GdB von unter 50 sich auch häufiger durch diese Arbeitsanforderungen belastet.

Zudem geben Beschäftigte mit einem GdB von unter 50 seltener an, über bestimmte Ressourcen am Arbeitsplatz zu verfügen. So haben Beschäftigte mit einem GdB von unter 50 seltener Einfluss auf die Planung der Arbeit (57 % vs. 67 %), die Arbeitsmenge (26 % vs. 35 %) oder den Pausenzeitpunkt (56 % vs. 65 %). Zudem erhalten sie seltener Lob und Anerkennung (31 % vs. 43 %) sowie Unterstützung von der direkten Führungskraft (58 % vs. 65 %). Einzig Unterstützung von Kolleginnen und Kollegen erhalten Beschäftigte mit einem GdB von unter 50 geringfügig häufiger (79 % vs. 77 %).

Die Auswertungen verdeutlichen, dass Beschäftigte mit einem Grad der Behinderung unter 50 im Arbeitsalltag häufig höheren Anforderungen ausgesetzt sind, stärkeren Belastungen unterliegen und über geringere Ressourcen verfügen als Beschäftigte mit einem GdB von mindestens 50.

3. Arbeitsbedingungen und wahrgenommene Einschränkungen im Arbeitsalltag

Bei der Betrachtung der Arbeitssituation von behinderten Beschäftigten ist auch ihre subjektive Wahrnehmung von Einschränkungen bedeutsam. Dies entspricht auch dem bio-psycho-sozialen Modell von Behinderung (DIMDI 2005), das Behinderung über erlebte Einschränkungen statt über Gesundheitsprobleme definiert.

Ausgehend hiervon stehen in den nachfolgenden Auswertungen insbesondere die subjektiven Erfahrungen behinderter Beschäftigter im Mittelpunkt. Dabei wird untersucht, inwiefern Arbeitsbedingungen damit zusammenhängen, dass behinderte Beschäftigte im Arbeitsalltag Einschränkungen erleben. Die Verknüpfung der Datensätze der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018 (Hall et al. 2020) mit der BIBB-Nachbefragung Menschen mit Behinderung 2019 (Weller & Bublitz 2021) ermöglichte es, detaillierte Informationen zu Behinderungsmerkmalen und Arbeitsbedingungen miteinander zu kombinieren und somit Zusammenhänge von Arbeitsbedingungen und dem Einschränkungserleben von Beschäftigten mit amtlich anerkannter Behinderung aufzudecken (Teborg & Eker 2025). Dazu wurden Arbeitsbedingungen aus verschiedenen Bereichen untersucht: körperliche Arbeitsanforderungen, Arbeitsintensität, Handlungsspielraum und soziale Unterstützung bei der Arbeit.

Dabei zeigt sich, dass insbesondere körperliche Arbeitsanforderungen, unter denen Aspekte wie das Heben und Tragen schwerer Lasten oder das Arbeiten in Zwangshaltungen zusammengefasst sind, mit einem höheren Einschränkungserleben zusammenhängen. Für die Arbeitsintensität, die mitunter hohen Termin- und Leistungsdruck, Multitasking oder sehr schnelles Arbeiten umfasst, ist der Zusammenhang weniger eindeutig: Sowohl eine sehr hohe als auch eine sehr niedrige Arbeitsintensität ist mit einem erhöhten Einschränkungserleben verknüpft.

Dies könnte auf Selektionseffekte hinweisen. Das höhere Einschränkungserleben ist möglicherweise nicht unmittelbar auf die Arbeitsintensität zurückzuführen, sondern darauf, dass Personen mit stärkeren Einschränkungen häufiger in Tätigkeiten mit geringerer Arbeitsintensität beschäftigt sind. Aus den vorliegenden Auswertungen lassen sich jedoch keine kausalen Schlussfolgerungen ableiten.

Bezüglich der untersuchten Ressourcen Handlungsspielraum und soziale Unterstützung sind die Ergebnisse gemischt. Während die Möglichkeit, die eigene Arbeit selbstständig planen und einteilen zu können, mit einem geringeren Einschränkungserleben assoziiert ist, ist der Zusammenhang für die soziale Unterstützung durch Kolleginnen und Kollegen nicht signifikant.

4. Diskussion

Die Arbeitssituation behinderter Beschäftigter ergibt sich aus einem komplexen Wechselspiel von (rechtlichen) Rahmenbedingungen, Arbeitsanforderungen und Ressourcen sowie individuellen Bedürfnissen und Wahrnehmungen. Die vorliegenden Auswertungen verdeutlichen, dass unterschiedliche Perspektiven im Kontext von Behinderung – darunter der sozialrechtliche Hintergrund oder die individuelle Wahrnehmung von Einschränkungen – jeweils einen eigenen Mehrwert für die Analyse von Arbeitssituationen bieten. Sie liefern Erkenntnisse auf verschiedenen Ebenen und tragen zu einem tieferen Verständnis von inklusiver Arbeitsgestaltung bei.

Unter Berücksichtigung des sozialrechtlichen Kontextes anhand des Grads der Behinderung (§ 2 Abs. 2 SGB IX) wurde deutlich, dass sich die Arbeitssituationen von Beschäftigten auf Basis unterschiedlicher Schweregrade von amtlich anerkannten Behinderungen unterscheiden. Insbesondere diejenigen mit einem GdB von unter 50 berichteten dabei häufiger von Anforderungen und Belastungen und seltener von Ressourcen bei der Arbeit.

Ein möglicher Grund hierfür liegt in den unterschiedlichen rechtlichen Ansprüchen: Beschäftigte mit einem GdB von mindestens 50 können aufgrund ihrer Schwerbehinderung spezifische Rechte geltend machen, beispielsweise im Rahmen einer behinderungsgerechten Arbeitsgestaltung. Diese Rechte können dazu beitragen, die Passung zwischen Arbeitsbedingungen und individuellen Bedürfnissen zu verbessern. Aus präventiver Sicht empfiehlt sich daher eine inklusive Gestaltung von Arbeit, die über gesetzliche Mindestanforderungen hinausgeht und nicht ausschließlich schwerbehinderte Beschäftigte adressiert.

Mit Blick auf das individuelle Einschränkungserleben zeigte sich zudem: Vor allem körperliche Arbeitsanforderungen stehen in Zusammenhang mit höheren Einschränkungen, während der Zusammenhang zwischen Arbeitsintensität und Einschränkungserleben weniger eindeutig ausfällt. Ein größerer Handlungsspielraum geht nachweislich mit geringeren Einschränkungen einher, was die Bedeutung von Flexibilität im Arbeitsalltag für gelingende Inklusion unterstreicht (Booth & Lup 2024). Für soziale Unterstützung konnte in den vorliegenden Auswertungen hingegen kein signifikanter Zusammenhang mit erlebten Einschränkungen nachgewiesen werden, obwohl diese ebenfalls als wichtiger Teil von Inklusion am Arbeitsplatz diskutiert wird (Flüter-Hoffmann et al. 2021). Möglicherweise hängt soziale Unterstützung eher indirekt mit dem Einschränkungserleben zusammen, beispielsweise wenn durch die Hilfe von Kolleginnen und Kollegen Arbeitsanforderungen und/oder Belastungen reduziert werden.

Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse den Zusammenhang von Arbeitsanforderungen und Ressourcen mit dem Einschränkungserleben von behinderten Beschäftigten. Eine inklusive Arbeitsgestaltung leistet damit nicht nur einen wichtigen Beitrag für gesunde und sichere Arbeitsbedingungen, sondern auch für eine barrierefreie Arbeitswelt.

5. Ausblick

Die Umsetzung von inklusiver Arbeitsgestaltung erfordert ein tiefgehendes Verständnis der Wechselwirkungen zwischen (rechtlichen) Kontextfaktoren, Arbeitsbedingungen und individuellen Voraussetzungen behinderter Beschäftigter. Der vorliegende Beitrag hat gezeigt, inwieweit die Betrachtung von Behinderung aus unterschiedlichen Perspektiven dabei helfen kann, verschiedene Herausforderungen und Potenziale im Kontext von beruflicher Teilhabe zu identifizieren. In Anlehnung an das JD-R Model (Demerouti et al. 2001; Bakker & Demerouti 2017) vertiefen die vorliegenden Auswertungen das Verständnis darüber, unter welchen Bedingungen behinderte Beschäftigte arbeiten und wie diese mit dem Einschränkungserleben im Arbeitsalltag zusammenhängen.

Gleichzeitig ist zu bemerken, dass die betrachteten Arbeitsanforderungen und Ressourcen an den Erfahrungen nicht-behinderter Beschäftigter ausgerichtet sind und behinderungsspezifische Aspekte unberücksichtigt bleiben. Für ein besseres Verständnis der Arbeitssituation behinderter Menschen sollten diese Faktoren stärker einbezogen werden. Forschungsergebnisse zeigen, dass sich Spezifika in der Arbeitssituation von behinderten Beschäftigten weniger anhand von allgemeinen Anforderungen und Ressourcen zeigen, sondern vielmehr anhand der Ausprägung psychologischer Merkmale (bspw. berufliche Selbstwirksamkeit, psychisches Wohlbefinden) und behinderungsspezifischer Faktoren (bspw. Diskriminierung, Arbeitsanpassungen) im Arbeitskontext (Zhou et al. 2025).

Gleichzeitig bleibt für die Beurteilung der beruflichen Teilhabe auch der Vergleich mit Beschäftigten ohne Behinderung unter Berücksichtigung von allgemeinen Arbeitsanforderungen und Ressourcen unverzichtbar. Nur durch die gemeinsame Betrachtung allgemeiner sowie behinderungsspezifischer Faktoren lässt sich ein umfassendes Bild der Arbeitssituation behinderter Beschäftigter gewinnen, welches sowohl spezifische Herausforderungen als auch Ungleichheiten im Zugang zu guter Arbeit sichtbar macht.

Zukünftige Forschungsperspektiven ergeben sich auch durch die Weiterentwicklung des JD-R Models. Aktuelle Forschungsansätze beschäftigten sich damit, inwieweit (1) das generelle Wohlbefinden eines Individuums beeinflusst, wie es mit Anforderungen und Ressourcen umgeht *(Person x Situation Approach)*, (2) wie Bedingungen auf Organisations- und Teamebene die individuell erlebten Anforderungen und Ressourcen prägen *(Multilevel JD-R Theory)*, (3) wie Beschäftigte ihre Arbeitsanforderungen und Ressourcen proaktiv beeinflussen (bspw. durch *Job Crafting*), oder (4) wie sich die Bedingungen im Arbeits- und Privatleben gegenseitig beeinflussen *(Work-Home Resources Model)* (Bakker et al. 2023).

Daraus ergeben sich verschiedene Ansatzpunkte für die Forschung zu Behinderung im Arbeitskontext, darunter (1) die stärkere Berücksichtigung individueller Merkmale behinderter Beschäftigter – auch im Hinblick auf psychisches oder körperliches Wohlbefinden – und mögliche Auswirkungen auf die Wahrnehmung von Arbeitsbedingun-

gen und den Umgang mit diesen, (2) die ganzheitliche Betrachtung von Arbeitssituationen unter Einbezug der Bedingungen auf Individual-, Team- und Organisationsebene (Teborg et al. 2024), (3) die Erforschung individueller Strategien im Umgang mit Arbeitsanforderungen und Ressourcen – auch im Hinblick auf Barrieren, die mit diesen verknüpft sein können – und (4) die Berücksichtigung von Anforderungen und Ressourcen im Privatleben von behinderten Beschäftigten, bspw. Aufwand für Arzttermine oder Pendelwege sowie Unterstützung im privaten sozialen Umfeld.

6. Literatur

Aktion Mensch (2025) Inklusionsbarometer Arbeit. Aktion Mensch e.V. Bonn. Zuletzt abgerufen am 05.01.2026 unter: https://delivery-aktion-mensch.stylelabs.cloud/api/public/content/aktion-mensch-inklusionsbarometer-arbeit-2025.pdf?v=00914778

Bakker, AB, Demerouti, E (2017) Job demands-resources theory: Taking stock and looking forward. Journal of Occupational Health Psychology 22(3): 273–285. https://doi.org/10.1037/ocp0000056.

Bakker, AB, Demerouti, E, Sanz-Vergel, AI (2023) Job demands–resources theory: Ten years later. Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior 10:25–53. https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-120920-053933.

Booth, JE, Lup, D (2024) Enabling inclusion: An analysis of positive and negative outcomes of discretionary work arrangements for employees with disabilities. British Journal of Industrial Relations 63(3):1–19. https://doi.org/10.1111/bjir.12862.

Demerouti, E, Bakker, AB, Nachreiner, F, Schaufeli, WB (2001) The job demands-resources model of burnout. Journal of Applied Psychology, 86(3):499–512. https://doi.org/10.1037/0021-9010.86.3.499.

Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI) (2005) Internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit. World Health Organization. Genf.

Flüter-Hoffman, C, Hammermann, A, Monsef, R (2021) Betriebliche Einflussfaktoren auf die Inklusion von Menschen mit Behinderungen. IW-Trends 48(4):1–22. https://doi.org/10.2373/1864-810X.21-04-01

Hall, A, Hünefeld, L, Rohrbach-Schmidt, D (2020) BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018 – Arbeit und Beruf im Wandel. Erwerb und Verwertung beruflicher Qualifikationen. SUF_1.0, Bundesinstitut für Berufsbildung. Bonn. https://doi.org/10.7803/501.18.1.1.10.

Lederer, V, Loisel, P, Rivard, M, Champagne, F (2014) Exploring the diversity of conceptualizations of work (dis)ability: a scoping review of published definitions. Journal of Occupational Rehabilitation 24(2):242–267. https://doi.org/10.1007/s10926-013-9459-4.

Lück, M, Hünefeld, L, Siefer, A (2024) Die wichtigsten Fakten und Fragen zur BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2024. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund.

Teborg, S, Hünefeld, L, Gerdes, T (2024) Exploring the working conditions of disabled employees: a scoping review. Journal of Occupational Medicine and Toxicology 19(1):2. https://doi.org/10.1186/s12995-023-00397-z.

Teborg, S, Eker, A (2025) Zwischen Anforderungen, Ressourcen und Einschränkungen: die Arbeitssituation von Beschäftigten mit Behinderung. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund.

Teborg, S, Vegner, V, Hünefeld, L (2025) Erwerbsteilhabe im Vergleich: ungünstigere Arbeitsbedingungen für Beschäftigte mit niedrigerem Grad der Behinderung. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund. https://doi.org/10.21934/baua:fakten20251016.

Weller, S, Bublitz, E (2021) BIBB Nachbefragung 2019 zur BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018 (Chancen und Risiken des technologischen Wandels für die berufliche Teilhabe von Menschen mit Behinderung). SUF_1.0; Bundesinstitut für Berufsbildung. Bonn. https://doi.org/10.7803/501.19.1.1.10.

Zhou Y, Upadhyay SK, Viswesvaran C (2025) Comparing workplace outcomes between disabled and non-disabled employees: A multi-paradigm meta-analysis. Journal of Vocational Behavior 162:1-26. https://doi.org/10.1016/j.jvb.2025.104205.

KI-generierte Leichte Sprache zur Stärkung der Teilhabe auf dem allgemeinen Arbeitsmarkt

Lea GIERKE, Elena KICK, Natalie MARTIN, Tobias KOPP, Steffen KINKEL

Institut für Lernen und Innovation in Netzwerken, Hochschule Karlsruhe
Moltkestraße 30, D-76133 Karlsruhe

Kurzfassung: Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen stoßen auf dem Arbeitsmarkt auf erhebliche Kommunikationsbarrieren. Leichte Sprache kann als Sprachvariante mit geringer Komplexität und hoher Verständlichkeit zum Abbau dieser Barrieren beitragen, wird in Unternehmen jedoch bislang kaum eingesetzt. Anhand von 17 qualitativen Expert:inneninterviews untersuchen wir das Potenzial KI-gestützter Übersetzungslösungen zur Automatisierung des umfangreichen Übersetzungsprozess der Leichten Sprache sowie deren Auswirkungen auf die berufliche Teilhabe von Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen. Die Ergebnisse zeigen, dass KI-generierte Leichte Sprache ein gut geeignetes Instrument ist, um mehr Teilhabe zu schaffen und die Zusammenarbeit in inklusiven Teams zu fördern.

Schlüsselwörter: Inklusion, Teilhabe, Leichte Sprache, Menschen mit kognitiver Beeinträchtigung, KI-generierte Übersetzung

1. Berufliche Teilhabe durch Leichte Sprache

In Deutschland steht allen Bürger:innen das Recht auf berufliche Teilhabe zu. Die UN-Behindertenrechtskonvention und das Behindertengleichstellungsgesetz (BGG) sichert dieses Recht insbesondere Menschen mit Behinderungen (MmB) zu (BMAS 2025a). Berufliche Teilhabe ist dabei ein zentraler Aspekt gesellschaftlicher Gleichberechtigung, wird für MmB jedoch häufig durch strukturelle und kommunikative Barrieren eingeschränkt (Aktion Mensch e.V. 2024).

Aktuelle Daten zur Arbeitsmarktsituation verdeutlichen diese Problematik. Laut dem Inklusionsbarometer Arbeit der Aktion Mensch e.V. ist die Zahl arbeitsloser MmB in den Jahren 2023 und 2024 deutlich gestiegen. Von rund 3,13 Millionen MmB im erwerbsfähigen Alter sind nur etwa 1,43 Millionen Menschen auf dem Arbeitsmarkt beschäftigt (Aktion Mensch e.V. 2024). Mehr als die Hälfte der MmB im erwerbsfähigen Alter ist somit erwerbslos. Im Vergleich zur Erwerbsquote von Menschen ohne Behinderung, die bei rund 79 % liegt, zeigt sich eine deutliche Diskrepanz in Bezug auf die gleichberechtigte Teilhabe. Insbesondere für Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen (MmkB) bestehen aufgrund von zu schwer verständlicher schriftlicher und mündlicher Kommunikation zahlreiche Hürden auf dem Arbeitsmarkt.

Vor diesem Hintergrund kommt dem Abbau kommunikativer Barrieren eine besondere Bedeutung zu, um eine Teilhabe am Arbeitsmarkt zu gewährleisten. Die leicht verständliche Vermittlung von Informationen ist dabei von zentraler Bedeutung, um Selbstbestimmung und einen gleichberechtigten Zugang im Sinne des Empowerments zu fördern (Gutermuth 2020). Leichte Sprache (LS) ist hierfür ein anerkanntes Instrument, um sprachliche Barrierefreiheit im Sinne des BGG sicherzustellen (Gutermuth 2020). Der Anspruch auf LS ist in Deutschland daher

inzwischen auch gesetzlich verankert und ergibt sich aus dem allgemeinen Anspruch auf Teilhabe und barrierefreien Zugang (§11 Abs. 1 BGG). LS ist heute ein etablierter Begriff, der durch verschiedene Rahmenwerke definiert ist und dessen Wirkung in zahlreichen Studien erforscht wurde. LS repräsentiert dabei die Sprachvariante mit der geringsten syntaktischen und semantischen Komplexität und der höchsten Verständlichkeit (Gutermuth 2020).

Die primäre Zielgruppe der LS sind Menschen mit Lernbehinderungen und anderen kognitiven Beeinträchtigungen (Deleanu et al. 2024). In Deutschland sind schätzungsweise 2,2 Millionen Menschen von diesen Einschränkungen betroffen (Maaß 2024). Die Regeln der LS zielen darauf ab, die durch eine kognitive Beeinträchtigung entstehenden Barrieren beim Zugang und Verständnis von Inhalten abzubauen. Aber auch andere Personen können von LS profitieren. So zählen zur sekundären Zielgruppe der LS Nicht-Muttersprachler:innen, Menschen mit funktionalem Analphabetismus, Menschen mit geringer Bildung sowie Teilnehmende an einer Unterhaltung zwischen Laien und Expert:innen (Deleanu et al. 2024). Insgesamt könnten bis zu 20 Millionen Menschen in Deutschland von leicht verständlichen Informationen profitieren (Maaß 2024).

LS erfüllt für ihre Zielgruppen drei wichtige Funktionen. Sie ermöglicht den Zugang zu Informationen und somit zu Partizipation (Bredel & Maaß 2016) und fungiert darüber hinaus auch als Mittel der Repräsentation, indem sie durch ihren Einsatz Aufmerksamkeit auf die Belange und Bedürfnisse ihrer Zielgruppe lenkt (Maaß 2024). LS kann außerdem eine Lern- bzw. Brückenfunktion übernehmen, indem sie ihren Leser:innen einen Einstieg ermöglicht, der als erster Schritt zur Weiterentwicklung ihrer sprachlichen Kompetenzen dienen kann (Bredel & Maaß 2016).

2. Informationsbereitstellung in Leichter Sprache

Zur Erstellung von Texten in LS wird meist ein mehrstufiges Vorgehen verfolgt (vgl. Abbildung 1). Dabei werden in der Regel spezialisierte Übersetzungsbüros oder freiberufliche Übersetzer:innen beauftragt. Diese verfügen über vertiefte Kenntnisse der einschlägigen Normen und Regelwerke der LS, über hohe sprachliche Kompetenz und über praktische Erfahrung in der Textarbeit sowie in der Zusammenarbeit mit MmkB (Lange-Kniep et al. 2025). Zu Beginn des Übersetzungsprozesses bereiten die Übersetzer:innen das Ausgangsmaterial systematisch auf, indem sie die Zielsetzung, die Zielgruppe und das gewünschte Format klären, die zentralen Inhalte auswählen und deren Strukturierung festlegen (Lange-Kniep et al. 2025). Da eine direkte Übertragung des Ausgangstextes in den Zieltext, wie es bei Übersetzungen in andere Sprachen der Fall ist, nicht möglich ist, müssen implizite Vorannahmen erläutert sowie weitere wichtige Zusatzinformationen und Erklärungen für die Zielgruppe ergänzt werden (Hansen-Schirra et al. 2020; Lange-Kniep et al. 2025). Diese Phase setzt ein differenziertes Verständnis des Vorwissens der Zielgruppe voraus und verlangt die Auswahl allgemein geläufiger Begrifflichkeiten sowie anschaulicher Beispiele (Deilen et al. 2023). Auf dieses Pre-Editing folgt die eigentliche Übersetzung in LS, die als intralinguale Beseitigung von Kommunikationsbarrieren zu verstehen ist (Maaß 2024). Oft wird dabei mit weiteren Fachleuten wie Illustrator:innen oder Lektor:innen zusammengearbeitet, um sowohl sprachliche als auch visuelle Zugänglichkeit sicherzustellen (BMAS 2025b). Anschließend wird der entstandene Text von einer Prüfgruppe evaluiert. Diese gibt aus Sicht der Zielgruppe Rückmeldungen zur Verständlichkeit und Angemessenheit der Inhalte (BMAS 2025b). Abschließend erfolgt

nach Einarbeitung der zuvor genannten Anmerkungen eine Qualitätskontrolle, die Aspekte wie Regelkonformität, inhaltliche Präzision und eine übersichtliche Struktur berücksichtigt (Lange-Kniep et al. 2025). Die systematische Durchführung aller Prozessschritte trägt dazu bei, Texte in LS bereitzustellen, die sowohl zuverlässig als auch barrierearm rezipierbar sind.

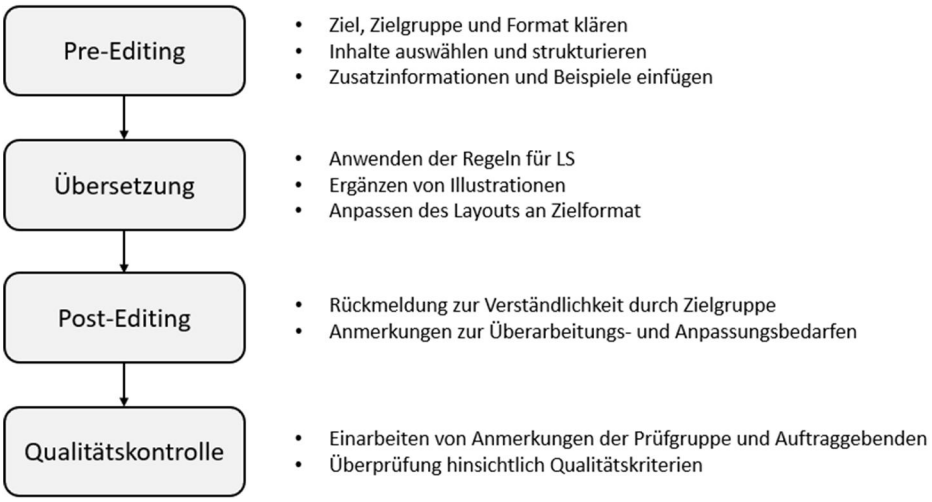


***Abbildung 1**: Phasen und Aufgaben der Übersetzung in Leichte Sprache, eigene Darstellung.*

Da dieser Prozess zeit- und kostenintensiv ist, liegen in Unternehmen bislang nur selten Informationen in LS vor (Goldbach & Bergelt 2020). Der Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) und insbesondere KI-gestützter Übersetzungslösungen kann dieser Problematik entgegenwirken. Neben der manuellen Übersetzung durch Übersetzer:innen, die durch Vorschläge einer KI-Software unterstützt werden, ist auch eine vollständig automatisierte Übersetzung der Texte durch die KI-Software denkbar. Diese wird anschließend im Post-Editing von Übersetzer:innen qualitätsgeprüft (Hansen-Schirra et al. 2020). Eine Prüfung durch die Zielgruppe selbst sollte dabei auch weiterhin gegeben sein (Lange-Kniep et al. 2025). Solche KI-Tools sind aktuell noch kaum verbreitet und werden bislang vor allem von öffentlichen Stellen genutzt, um Materialien in LS zu erstellen und damit ihre Pflichten nach dem BGG oder der Barrierefreie-Informationstechnik-Verordnung (BITV 2.0) zu erfüllen (Lorenz 2025, Maaß 2024). Dabei könnte der Einsatz von KI-Übersetzungslösungen die Teilhabe von MmkB am Arbeitsleben verbessern, da es ihnen dadurch ermöglicht wird, sich im Alltag und in der Arbeitswelt zu orientieren und an der Kommunikation und dem Informationsaustausch teilzunehmen (Kupke & Schlummer 2010).

3. Expert:innenbefragung zu KI-generierter Leichter Sprache

Um zu ermitteln, welche Potenziale unterschiedliche Stakeholder in dieser Technologie sehen, wurden 17 qualitative Expert:innenbefragungen mit fünf Arbeitgebenden von MmkB, sechs Jobcoaches, die mit MmkB in Werkstätten zusammenarbeiten, sowie sieben Übersetzer:innen für LS durchgeführt. An einem Interview nahmen zwei Übersetzer:innen gemeinsam teil. Alle Befragungen wurden aufgezeichnet und gemäß den Transkriptionsregeln nach Dresing und Pehl (2018) vollständig transkribiert. Anschließend wurden die Interviews gemäß der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) ausgewertet.

Aus den Expert:innenbefragungen lassen sich konkrete Potenziale KI-generierter LS identifizieren (vgl. Abbildung 2). Diese lassen sich insbesondere in inklusiven Teams realisieren, in denen anleitende oder unterstützende Kolleg:innen von MmkB durch KI-Tools bei der Aufbereitung leicht verständlichen Materials unterstützt werden. Aus Sicht der befragten Übersetzer:innen erreicht KI-generierte LS auf Wort- und Satzebene bereits ein hohes Maß an Verständlichkeit bei gleichzeitig geringer Komplexität. Positiv hervorgehoben wird insbesondere die Fähigkeit der KI, unterschiedliche Varianten vorzuschlagen und formale Regeln zuverlässig einzuhalten. Lediglich bei umfangreichen Inhalten bedarf es eines aufwändigeren Post-Editings, um eine nachvollziehbare Strukturierung und angemessene inhaltliche Gestaltung zu gewährleisten. Die mit dem verstärkten Einsatz von KI-gestützten Übersetzungstools verbundene stärkere Verbreitung von LS wird als „*eine Entwicklung, die für alle gewinnbringend ist*“ (E8) bezeichnet. Dies steht jedoch unter der Prämisse, dass automatisiert übersetzte Texte vor der Weitergabe an MmkB auf das Vorkommen von Halluzinationen und auf eine angemessene Berücksichtigung des Kontextes geprüft werden. Vor diesem Hintergrund kann angenommen werden, dass KI-gestützte Übersetzungstools geeignete Instrumente sind, um die Kompetenz zur Übersetzung in LS verstärkt in Unternehmen zur Verfügung zu stellen. Jobcoaches und Arbeitgebende beschreiben, dass Übersetzungen in der betrieblichen Praxis ohnehin häufig nicht durch geschulte externe Übersetzer:innen, sondern durch Jobcoaches selbst oder internes Personal angefertigt werden, um Kosten und Zeit zu sparen. Für diese ungeschulten Personen können KI-Tools zur Übersetzung in LS als „*Hilfe*“ (E2) und „*Sparrings-Partner*“ (E8) dienen, um die Anfertigung der benötigten Materialien effizienter zu gestalten. Insbesondere beim Einsatz von KI-gestützten Übersetzungstools in Unternehmen sollten jedoch Fragen des Datenschutzes berücksichtigt werden. Informationen und Texte der internen Kommunikation enthalten häufig betriebs- und personenbezogene Daten, die einem besonderen Schutz unterliegen. Anwender:innen der Übersetzungstools müssen daher zum verantwortungsvollen Umgang mit entsprechenden Tools geschult werden.

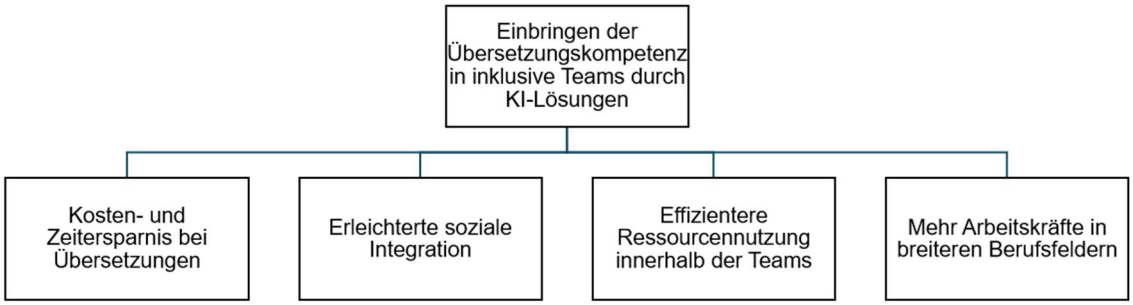


***Abbildung 2**: Potenzielle positive Effekte KI-generierter Leichter Sprache in inklusiven Teams, eigene Darstellung.*

Darüber hinaus verdeutlichen die Ergebnisse, dass der Einsatz KI-gestützter Übersetzungstools den Austausch sowie die soziale und fachliche Integration von MmB in inklusiven Teams fördern kann, da Kommunikationsbarrieren und bestehende Vorbehalte schneller abgebaut werden. Alle Teammitglieder haben die Möglichkeit, KI-Übersetzungsprogramme zu nutzen, um sich schnell und ohne umfangreiches Vorwissen Formulierungen in LS vorschlagen zu lassen und so den persönlichen Austausch zu fördern. Im Sinne der Kontakthypothese (Pettigrew & Tropp 2006) legen die Ergebnisse zudem nahe, dass die Repräsentationsfunktion Leichter Sprache positive Auswirkungen auf den Abbau von Stigmata und Vorurteilen gegenüber MmkB

hat. Durch die mittels KI-Tools weiter vorangetriebene Verbreitung der LS werden mehr Kontaktpunkte zu barrierefreier Kommunikation geschaffen, sodass ein Normalisierungsprozess eintritt. In der Konsequenz wird LS dann nicht mehr mit „*wenig Hintergrund, wenig Wissen, wenig Komplexität an Inhalten*“ (E13) assoziiert, sondern als adäquates Hilfsmittel, um MmkB in die Arbeitswelt zu integrieren.

Übereinstimmend mit Goldbach & Bergelt (2020) zeigen die Befragungen außerdem, dass Materialien für die Einarbeitung und Erledigung der täglichen Arbeiten nur selten in LS bereitgestellt werden. Dies führt zu hohen Unterstützungsbedarfen von MmkB und bindet erhebliche zeitliche Ressourcen anderer Mitarbeitenden. Eine verstärkte Bereitstellung KI-generierter Materialien in LS bietet demnach großes Potenzial für eine effizientere Nutzung der Kapazitäten in inklusiven Teams. Zudem kann in Zeiten des Fachkräftemangels dadurch das Potenzial von MmB genutzt und Inklusion im Unternehmen vorangetrieben werden (Aktion Mensch e.V. 2024). Eine verbesserte und kontinuierliche Verfügbarkeit von LS ermöglicht MmkB zudem eine selbstständigere Arbeitsweise, eröffnet ihnen neue Tätigkeitsfelder und Berufswege und stärkt zugleich ihre Position und aktive Rolle im Team. Die Verfügbarkeit leicht aufbereiteten Materials fördert zudem nicht nur für die Beschäftigung von MmkB, sondern auch die von Menschen mit geringen Deutschkenntnissen oder eingeschränkter fachspezifischer Vorbildung. Dadurch wird die Einarbeitung eines breiteren Personenkreises in Unternehmen erleichtert.

4. Fazit

Eine kosten- und zeitsparendere Alternative zum rein manuellen Übersetzungsprozess in LS bietet vielfältige Potenziale für die Inklusion von MmkB. Um das Instrument der KI-generierten LS jedoch zielführend für eine verbesserte berufliche Teilhabe in Unternehmen einzusetzen, bleibt der persönliche Austausch und die Berücksichtigung individueller Voraussetzungen jedoch unerlässlich. Schließlich muss in inklusiven Teams eine offene Haltung herrschen, welche die Grundlage dafür schafft, dass Hilfsmittel wie LS und KI-gestützte Übersetzungsprogramme positiv wirken können. Es sollte berücksichtigt werden, dass LS „*Mittel zum Zweck ist, aber ja kein Selbstzweck*“ (E7).

Wird KI-generierte LS durch Kolleg:innen in Teams in der Zusammenarbeit mit MmkB eingesetzt, um Kommunikationsbarrieren effizient abzubauen, kann dies potenziell vielfältig positiv auf die Zusammenarbeit wirken. Einerseits wird der Austausch weniger zeit- und kostenintensiv, da keine externen Übersetzer:innen beauftragt werden müssen und Kolleg:innen ohne vorherige Erfahrung in barrierefreier Kommunikation einen niedrigschwelligen Zugang dazu erhalten. Andererseits wird MmkB durch eine verbesserte Verfügbarkeit leicht verständlich aufbereiteten Materials ein selbstständigeres und selbstbestimmteres Arbeiten ermöglicht, was zu einer effizienteren Nutzung von Kapazitäten führt.

Eine Gesamtbetrachtung der Themen berufliche Teilhabe, Leichte Sprache und KI zeigt, dass sich eine weitere Verbreitung von KI-generierter Leichter Sprache potenziell positiv auf die Teilhabe von MmkB auswirken wird. Für das spezifische Einsatzszenario KI-gestützter Übersetzungslösungen in Unternehmen ergeben sich weitere Forschungsansätze. So könnte beispielsweise geprüft werden, ob sich die positive Wirkung von KI-generierter LS durch Synergieeffekte noch verstärken lässt. Dazu könnten KI-gestützte Übersetzungstools die Antworten vor der Ausgabe von Ergebnissen mithilfe von Methoden wie der Retrieval Augmented Generation (RAG)

mit Informationen aus betrieblichen Wissensdatenbanken zu Fachbegriffen, Rollen und Prozessen abgleichen und gegebenenfalls überarbeiten (Honroth et al. 2024).

5. Literatur

Aktion Mensch e. V. (2024): Inklusionsbarometer Arbeit. Ein Instrument zur Messung von Fortschritten bei der Inklusion von Menschen mit Behinderung auf dem deutschen Arbeitsmarkt 12. Jahrgang

BMAS. (2025a). Was ist Teilhabe von Menschen mit Behinderungen? https://www.bmas.de/DE/Soziales/Teilhabe-und-Inklusion/Rehabilitation-und-Teilhabe/Was-ist-Teilhabe-von-Menschen-mit-Behinderungen/was-ist-teilhabe-von-menschen-mit-behinderungen.html.

BMAS (Hg.) (2025b): Leichte Sprache. Ein Ratgeber zur Arbeit mit Leichter Sprache (2).

Bredel, U. & Maaß, C. (2016). Leichte Sprache: Theoretische Grundlagen; Orientierung für die Praxis. Duden - Ratgeber. Duden Verlag.

Deilen, S., Hernández Garrido, S., Lapshinova-Koltunski, E. & Maaß, C. (2023). Using ChatGPT as a CAT tool in Easy Language translation. Proceedings of the Second Workshop on Text Simplification, Accessibility and Readability, 1–10. https://aclan-thology.org/2023.tsar-1.1/.

Deleanu, A., Orasan, C. & Braun, S. (2024). Accessible Communication: a systematic review and comparative analysis of official English Easy-to-Understand (E2U) language guidelines. In LREC-COLING2024 (Hrsg.), 3rd Workshop on Tools and Resources for People with Reading DIfficulties (S. 70–92).

Dresing, T. & Pehl, T. (2018). Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse: Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende (8. Auflage). Eigenverlag.

Goldbach, A. & Bergelt, D. (2020). Leichte Sprache am Arbeitsplatz: Sozialwissenschaftliche Ergebnisse und Praxisempfehlungen aus dem LeiSA-Projekt. Universität Leipzig; Universitätsbibliothek Leipzig. https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:15-qucosa2-383782.

Gutermuth, S. (2020). Leichte Sprache für alle? Eine zielgruppenorientierte Rezeptionsstudie zu Leichter und Einfacher Sprache [Dissertation, Frank & Timme]. GBV Gemeinsamer Bibliotheksverbund.

Hansen-Schirra, S. & Maaß, C. (Hrsg.). (2020). Easy Language Research: Text and User Perspectives. Frank & Timme. https://doi.org/10.26530/20.500.12657/42088.

Honroth, T., Siebert, J. & Kelbert, P. (2024). Retrieval Augmented Generation (RAG): Chatten mit den eigenen Daten. Fraunhofer IESE.

Kupke, C., Schlummer, W. (2010): Kommunikationsbarrieren und ihre Überwindung. Leichte Sprache und Verständlichkeit in Texten für Menschen mit Lernschwierigkeiten. In: Teilhabe (49), S. 67–73.

Lange-Kniep, A., Göhner, K. & Rhensius, R. (2025). Kodex für den Einsatz von Künstlicher Intelligenz für Leichte Sprache: Empfehlungen für den verantwortungsvollen Umgang mit KI-Programmen zur Erstellung von Texten in Leichter Sprache.

Lorenz, S. (2025). Fachliche Einordnung von KI-Übersetzungstools für Leichte Sprache. Überwachungsstelle des Bundes für Barrierefreiheit von Informationstechnik. https://www.bfit-bund.de/DE/Publikation/Stellungnahme-ki-tools.html.

Maaß, C. (2024). Hi ChatGPT, Translate This Text into Easy Language: Is the New Easy Language Translator a Machine? VAKKI Publications, 2024, S. 9–29. https://journal.fi/vakki/article/view/145621.

Mayring, P. (2015). Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken (12., überarbeitete Auflage). Beltz Pädagogik. Beltz.

Pettigrew, T. F. & Tropp, L. R. (2006). A meta-analytic test of intergroup contact theory (Bd. 90). https://doi.org/10.1037/0022-3514.90.5.751.

Förderhinweis: Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts STARK-LS. Das Verbundprojekt wird durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) mit Mitteln des „Ausgleichsfonds für überregionale Vorhaben zur Teilhabe schwerbehinderter Menschen am Arbeitsleben (AGF)“ (Förderkennzeichen: AG-24-0003) gefördert und von der Knappschaft- Bahn-See (KBS) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Arbeit inklusiv denken und erfassen: Perspektiven für eine zukunftsorientierte Erwerbstätigenbefragung

Lena HÜNEFELD, Alper EKER, Sophie TEBORG, Anke SIEFER

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund

Kurzfassung: Der Beitrag verfolgt das Ziel, aufzuzeigen, wie Großbefragungen inklusiv gestaltet werden können, um Menschen mit Beeinträchtigungen oder Behinderungen systematisch einzubeziehen und deren Arbeitssituation angemessen abzubilden. Die Sichtung von 14 einschlägigen Großbefragungen anhand eines induktiv-deduktiv entwickelten Kategoriensystems zu Beeinträchtigung/Behinderung, Arbeitssituation und individuellen Merkmalen macht deutlich, dass bereits ein beachtliches Analysepotenzial in verschiedenen Erhebungen besteht. Dennoch zeigen sich deutliche Weiterentwicklungsmöglichkeiten, insbesondere im Hinblick auf eine konsequent teilhabeorientierte Gestaltung von Befragungen.

Schlüsselwörter: Berufliche Teilhabe, Arbeitsbedingungen, Erster Arbeitsmarkt, Menschen mit Behinderungen, Befragungen

1. Einleitung

Eine fundierte und inklusive Gestaltung von Arbeitsplätzen setzt ein umfassendes Verständnis der tatsächlichen Arbeitssituation unterschiedlicher Beschäftigtengruppen voraus. Befragungsdaten spielen dabei eine zentrale Rolle, da sie differenzierte Einblicke in Arbeitsbedingungen und deren Entwicklungen über die Zeit ermöglichen. Die UN-BRK (Behindertenrechtskonvention) ist seit 2009 ein bindendes Menschenrecht in Deutschland, um die volle Teilhabe und Gleichberechtigung von Menschen mit Behinderungen sicherzustellen. In Art. 31 der UN-BRK (Beauftragter der Bundesregierung für die Belange von Menschen mit Behinderungen 2018) verpflichtet sich Deutschland zur Erhebung geeigneter Daten, um die Umsetzung der Rechte zu überprüfen. Dies bezieht auch Daten zur Arbeitssituation von Menschen mit gesundheitlichen Beeinträchtigungen oder Behinderungen ein. Bisher basieren viele Daten über Menschen mit Beeinträchtigungen oder Behinderungen auf amtlichen Statistiken oder Routinedaten (Brünger et al. 2025), die überwiegend Personen mit amtlich anerkannten Behinderungen oder Leistungsbezug erfassen. Befragungsdaten bieten hier eine wertvolle Ergänzung, da sie die Perspektiven der Betroffenen in den Mittelpunkt stellen – und dabei auch diejenigen berücksichtigen, die für ihre Behinderung (noch) keine amtliche Anerkennung erwirkt bzw. erhalten haben (Eurofound 2018). Sie ermöglichen eine differenzierte Darstellung der Arbeitssituation und liefern Grundlagen für evidenzbasierte politische Entscheidungen. Dafür müssen auch relevante Bedingungen mit erhoben werden, die für die spezifische Gruppe von Belang sind. Dies bedeutet neben Informationen zu Arbeitsbedingungen und organisationalen Rahmenbedingungen auch Informationen zu den Bereichen Barrierefreiheit, Unterstützung individueller Bedarfe und Teilhabe (Decker et al. 2021; Sevak & Khan 2017; Teborg et al. 2024).

Der Beitrag verfolgt das Ziel, aufzuzeigen, wie Großbefragungen inklusiv gestaltet

werden können, um Menschen mit Beeinträchtigungen und Behinderungen systematisch einzubeziehen und deren Arbeitssituation auf dem 1. Arbeitsmarkt angemessen abzubilden. Grundlage bildet eine systematische Sichtung von Befragungen hinsichtlich ihres Analysepotentials zur Arbeitssituation von Menschen mit Beeinträchtigungen und Behinderungen. Darauf aufbauend werden entlang zentraler Konzepte der Teilhabeforschung methodische und inhaltliche Anforderungen an eine inklusive Erwerbstätigenbefragung herausgearbeitet.

2. Methodisches Vorgehen

Für die inhaltliche Analyse der Befragungen wurden zunächst relevante Großbefragungen für den Zeitraum 2018-2024 durch Recherchen bei Forschungsdatenzentren (z. B. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (IAB), GESIS) sowie Literatur- und Berichtsanalysen (z. B. Prütz & Lange 2016; Zeidler et al. 2015) identifiziert. Dabei wurden sowohl Befragungen berücksichtigt, die sich spezifisch nur auf erwerbstätige Personen beziehen, als auch Befragungen, die Personen in Privathaushalten als Zielpersonen hatten. Grundlegende Auswahlkriterien für die weitere Analyse waren die Identifizierbarkeit von Menschen mit andauernden gesundheitlichen Beeinträchtigungen und die Abdeckung des Themengebietes Arbeit. Auch das Vorliegen einer (Teil-)Stichprobe von Erwerbstätigen auf dem 1. Arbeitsmarkt von mindestens 1.000 Personen und die Repräsentativität für die deutsche (Erwerbs-)Bevölkerung (oder relevante Teilpopulationen dieser) wurde vorausgesetzt. Für den Einschluss der Befragungen war zudem Datenzugangsmöglichkeiten für Forschende notwendig.

Mithilfe eines iterativ entwickelten Kategoriensystems wurden in der Folge die drei Themenbereiche Beeinträchtigung/Behinderung, Arbeitssituation und individuelle Merkmale untersucht. Das System umfasst 14 Hauptkategorien und 112 Unterkategorien. Dabei wurde das differenzierte Verständnis von Beeinträchtigung und Behinderung der Teilhabeberichterstattung der Bundesregierung in Anlehnung an die „Internationale Klassifikation der Funktionsfähigkeit, Behinderung und Gesundheit“ (International Classification of Functioning, Disability and Health [ICF]), (WHO 2001) zugrunde gelegt. Das darauf aufbauende Operationalisierungskonzept der „Repräsentativbefragung zur Teilhabe von Menschen mit Behinderungen“ des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS) (Steinwede & Harand 2022) wurde im Themenbereich „Beeinträchtigung/Behinderung“ für die Hauptkategorie „selbst- und fremdeingeschätzte Beeinträchtigung bzw. Behinderung“ als Grundlage genommen. Damit legt das Analyseraster offen, ob Aussagen zu den folgenden Zielgruppen möglich sind:

- Menschen mit Beeinträchtigung: Es liegt eine (mindestens 6 Monate) andauernde gesundheitliche Beeinträchtigung vor.
- Menschen mit selbsteingeschätzter Behinderung: Es liegt mindestens eine andauernde gesundheitliche Beeinträchtigung (mindestens 6 Monate) vor und das alltägliche Handeln ist nach eigener Einschätzung entweder deutlich oder stark eingeschränkt. Alternativ kann auch eine ausgeprägte Beeinträchtigung bestehen, die den Alltag zumindest in gewissem Maße eingeschränkt (Steinwede & Harand 2022).
- Menschen mit fremdeingeschätzter (Schwer-)Behinderung: Es liegt eine sozialrechtlich anerkannte Behinderung nach SGB IX vor. Bei Personen mit einer anerkannten Schwerbehinderung muss ein Grad der Behinderung von mindestens 50 vorliegen (§ 2 Abs. 2 SGB IX-neu; Harand et al. 2020).

Die Entwicklung der Haupt- und Unterkategorien der Themenbereiche „Arbeitssituation“, und „individuelle Merkmale“ orientierte sich an vergleichbaren Übersichtsarbeiten im Bereich der Arbeits- und Gesundheitsforschung (z. B. Hünefeld et al. 2021; Zeidler et al. 2015). Diese umfassen u. a. Informationen zu beruflicher Stellung, betrieblichen Rahmenbedingungen, Arbeitsbedingungen, Arbeitszufriedenheit, Arbeitsmotivation und soziodemographischen Merkmalen wie Alter, Geschlecht und Bildung. In Anlehnung an bestehende Forschungserkenntnisse zu inklusionsförderlichen Bedingungen (z. B. Teborg et al. 2024; Decker et al. 2021) wurden diese durch inklusionsspezifische Kategorien wie „Vorhandensein einer/eines Inklusionsbeauftragten“, „Umgang mit behinderten/chronisch kranken Menschen“ oder „barrierefreie Arbeitsbedingungen“ ergänzt.

3. Ergebnisse

Von 35 identifizierten Großbefragungen erfüllten 14 alle Einschlusskriterien (Stand Mai 2024; s. Tabelle 1).

Tabelle 1: *Übersicht über die 14 eingeschlossenen Befragungen.*

Kurzbezeichnung	Name der Befragung
AID:A	Aufwachsen in Deutschland: Alltagswelten
BIBB/BAuA	BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung
BIBB/BAuA-Zusatz	BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018 - BIBB-Nachbefragung Menschen mit Behinderung 2019
DEAS	Deutscher Alterssurvey
ESS	European Social Survey
EWCS	European Working Conditions Survey
GEDA	Gesundheit in Deutschland aktuell
ISSP	International Social Survey Programme
lida	Leben in der Arbeit
MZ	Mikrozensus
PASS	Panel Arbeitsmarkt und Soziale Sicherung
SHARE	Survey of Health, Ageing and Retirement in Europe
SOEP	Sozioökonomisches Panel
Teilhabesurvey	Repräsentativbefragung zur Teilhabe von Menschen mit Behinderung

Die Potenziale zur Identifizierung der Zielgruppen variieren: Das Teilhabesurvey erlaubt die umfassendste Differenzierung zwischen Menschen mit Beeinträchtigungen, selbsteingeschätzter und amtlich anerkannter Behinderung. Neben der Frage nach einer dauerhaften Beeinträchtigung und der Beeinträchtigung der körperlichen und psychischen Funktionen, wird nach der Stärke der Beeinträchtigung bei Aktivitäten im Alltag, einer amtlich anerkannten Behinderung, dem Grad der Behinderung und dem Vorliegen eines Schwerbehindertenausweises gefragt. Darüber hinaus gibt es detaillierte Informationen zur Beeinträchtigungsart, der Hilfsmittelnutzung im Alltag und der Sichtbarkeit der Beeinträchtigung. BIBB/BAuA, BIBB/BAuA-Zusatz, DEAS, lidA, PASS und SOEP lassen wie im Teilhabesurvey eine Differenzierung aller drei Zielgruppen zu.

Die Abbildung der Arbeitssituation ist ebenfalls heterogen: Erwerbstätigenbefragungen (BIBB/BAuA, EWCS, lidA) enthalten viele arbeitsbezogene Items, während in Haushaltsbefragungen, wie zum Beispiel dem SOEP, insbesondere Informationen zu Einkommen und Erwerbsbiografie erfasst werden. Insgesamt zeigt sich, dass sich je nach Fragestellung im Kontext „Arbeit“ unterschiedliche Befragungen anbieten. Beispielsweise bietet die lidA-Studie hinsichtlich betrieblicher Rahmenbedingungen einen tiefergehenden Einblick in den Umgang mit behinderten und chronisch kranken Menschen anhand zahlreicher Informationen zur beruflichen Wiedereingliederung. Analysen von Arbeitszeitmerkmalen sind wiederum insbesondere mit dem MZ und dem SOEP möglich. Neben dem Analysepotential bezüglich der Arbeitssituation von Menschen mit Beeinträchtigungen oder Behinderungen werden aber auch Lücken in der Datenlandschaft deutlich. Diese bestehen vor allem bei betrieblichen Rahmenbedingungen (z. B. Vorhandensein Inklusionsbeauftragte/r), inklusiver Unternehmenskultur, Diskriminierungserfahrungen, Barrierefreiheit und Hilfsmittelbedarf.

4. Weiterentwicklungsmöglichkeiten

Die Analyse zeigt, dass bestehende Großbefragungen bereits wertvolle Informationen zur Arbeitssituation von Menschen mit Beeinträchtigungen und Behinderungen liefern. Allerdings bestehen aber auch Lücken aus denen sich zentrale Weiterentwicklungsmöglichkeiten in drei Bereichen ableiten lassen:

4.1 Erhebungskonzepte von Beeinträchtigung und Behinderung

Nach dem bio-psycho-sozialen Modell der ICF entsteht Behinderung aus der Interaktion von Gesundheitsproblemen mit individuellen und umweltbezogenen Faktoren (WHO 2001). Bisher wird diese relationale Perspektive in den meisten Befragungen nicht systematisch umgesetzt. Eine Ausnahme bildet das Teilhabesurvey, das Einschränkungen und Umweltfaktoren erfasst. Die Differenzierung zwischen Beeinträchtigung und Behinderung ist oft unklar. Eine konsistente Operationalisierung, z. B. mittels WHO Model Disability Survey (MDS), würde die Abdeckung aller Dimensionen von Behinderungen – Beeinträchtigungen, Aktivitätseinschränkungen, Teilhabebeschränkungen und Umweltfaktoren – verbessern (Schäfers 2024). Alternativ kann eine Gruppierung nach Beeinträchtigungsstärke ohne Unterscheidung zwischen Beeinträchtigung und Behinderung die Erfassung vereinfachen. Sozialrechtlich relevante Merkmale sollten integriert bleiben, um Anschlussfähigkeit an das SGB IX und amtliche Statistiken zu gewährleisten.

4.2 Indikatoren zur Arbeitssituation

Die systematische Sichtung macht deutlich, dass gerade im Kontext der beruflichen Teilhabe Informationslücken bestehen. Bezüglich der betrieblichen Rahmenbedingungen liegen in den untersuchten Befragungen keine oder nur wenige Informationen vor mit denen entsprechende strukturelle Rahmenbedingungen oder kulturelle Aspekte in Organisationen beleuchtet werden könnten. Dazu zählen exemplarisch das Vorhandensein einer/eines Inklusionsbeauftragten, ein inklusives Betriebsklima oder Informationen zu Anlaufstellen oder gezielten Unterstützungsmaßnahmen am Arbeitsplatz für Menschen mit Beeinträchtigungen oder Behinderungen. Dabei stellen die betrieblichen Rahmenbedingungen einen zentralen Faktor für die berufliche Inklusion dar (Teborg et al. 2024). Ferner ist gemäß UN-BRK (UN-BRK Artikel 27 §1i) sicherzustellen, dass am Arbeitsplatz angemessene Vorkehrungen für Menschen mit Behinderungen getroffen werden. Dazu gehört die Barrierefreiheit von Arbeitsstätten sicherzustellen – einschließlich physischer, struktureller und kommunikativer Aspekte (Beauftragter der Bundesregierung für die Belange von Menschen mit Behinderungen 2018). Befragungen können dazu beitragen, Barrieren und Bedarfe sichtbar zu machen – vorausgesetzt, entsprechende Items sind integriert. Eine Minimallösung wäre die Integration einer Frage zur aktuellen Barrierefreiheit des Arbeitsplatzes insgesamt. In einer ausführlicheren Variante könnten verschiedene Bereiche des Arbeitsplatzes (z. B. Zugang zum Arbeitsplatz, Arbeitsplatzausstattung, digitale Barrierefreiheit oder Barrierefreiheit der Kommunikation) abgedeckt werden.

4.3 Inklusives Studiendesign

Neben der angemessenen Operationalisierung der diversen Gruppe „Menschen mit Beeinträchtigungen oder Behinderungen“ und dem Abbilden relevanter Indikatoren im Kontext der beruflichen Teilhabe spielt das Erhebungsdesign eine zentrale Rolle. Um die diverse Zielgruppe angemessen abzubilden sind mehrstufige Stichproben, Screening-Ansätze und verschiedene Erhebungsmethoden erforderlich, um allen Personen unabhängig von der Art und Schwere der Beeinträchtigung eine Teilhabe an Befragungen zu ermöglichen. Barrierefreie Zugänge (z. B. Befragung in leichter Sprache), flexible Erhebungsmodi (CAPI, CATI, CAWI) und gezielte Ansprache unterrepräsentierter Gruppen erhöhen die Teilnahmequote und Datenqualität (Schütz et al. 2025).

5. Fazit

Die systematische Übersicht zeigt, dass die derzeitige Befragungslandschaft zwar Teilaspekte der Arbeitssituation von Menschen mit Beeinträchtigungen oder Behinderungen abbildet, aber für ein umfassendes Monitoring der Umsetzung der UN-BRK (Art. 31) nicht ausreicht. Wichtige Weiterentwicklungsmöglichkeiten ergeben sich durch folgende Punkte:

- eine durchgängige teilhabeorientierte Operationalisierung von Behinderung,
- systematische Indikatoren zu Barrierefreiheit, Hilfsmitteln, inklusiver Unternehmenskultur, Diskriminierung,
- methodisch inklusive Designs und flexible Erhebungsstrategien.

Zielgerichtete Weiterentwicklungen – sowohl inhaltlich als auch methodisch – können die evidenzbasierte Steuerung politischer Maßnahmen verbessern, Ungleichheiten sichtbar machen und Ansatzpunkte für eine gesundheitsförderliche und inklusive Arbeitsgestaltung liefern.

6. Literatur

Brünger M, Brzoska P, du Prel JB et al. (2025) Nutzung von Routinedaten in der Rehabilitationsforschung – Teil 1: Ein Überblick über Art, Zugang, Qualität und Datenschutz. Die Rehabilitation 64:167-175. https://doi.org/10.1055/a-2575-9422.

Beauftragter der Bundesregierung für die Belange von Menschen mit Behinderungen (2018) Die UN-Behindertenrechtskonvention. Übereinkommen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen. In: Übereinkommen der Vereinten Nationen über die Rechte von Menschen mit Behinderung. Bonn. https://www.institut-fuer-menschenrechte.de/fileadmin/Redaktion/PDF/DB_Menschenrechtsschutz/CRPD/ CRPD_Konvention_und_Fakultativprotokoll.pdf.

Decker M, Flüter-Hoffmann C, Stettes O (2021) Erfolgsfaktoren betrieblicher Inklusion: Empirische Evidenz aus REHADAT-Befragungen von Menschen mit Behinderungen. Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung 48:105-120. https://doi.org/10.2373/1864-810X.21-02-06.

EUROFOUND, European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions (2018) Social and employment situation of people with disabilities. Living conditions and quality of life. Publications Office of the European Union. Luxemburg. https://doi.org/10.2806/213629.

Harand J, Steinwede J, Schröder H, Thiele N (2020) Repräsentativbefragung zur Teilhabe von Menschen mit Behinderungen: 4. Zwischenbericht. Infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH. Bonn. https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/document/73310/1/ssoar-2020-harand_et_al-Reprasentativbefragung_zur_Teilhabe_von_Menschen.pdf.

Hünefeld, L, Ahlers, E, Vogel, SE et al. (2021) Arbeitsintensität und ihre Determinanten. Eine Übersicht über das Analysepotential von Erwerbstätigenbefragungen. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft. 76: 1–9. https://doi.org/10.1007/s41449-021-00273-8.

Prütz F, Lange C (2016) Daten zu Behinderung und Teilhabe in Deutschland: Anforderungen, Auswertungsmöglichkeiten und Ergebnisse. Bundesgesundheitsblatt 59:1103–1116. https://doi.org/10.1007/s00103-016-2408-6.

Schäfers M (2024) Zur Messung von Behinderung in der Teilhabebefragung und Teilhabeberichterstattung. Die Rehabilitation 63:316-322. https://doi.org/10.1055/a-2366-5317.

Schütz H, Koßmann J, Steinwede J, Kleudgen M (2025) Förderung der Barrierefreiheit bei der Datenerhebung von Arbeitsbedingungen: Abschlussbericht einer Pilotstudie. baua: Bericht. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Dortmund. https://doi.org/10.21934/baua:bericht20250611.

Sevak P, Khan S (2017) Psychiatric versus physical disabilities: A comparison of barriers and facilitators to employment. Psychiatric Rehabilitation Journal 40:163-171. https://doi.org/10.1037/prj0000236.

Steinwede J, Harand J (2022) Abschlussbericht Repräsentativbefragung zur Teilhabe von Menschen mit Behinderung. Bundesministerium für Arbeit und Soziales. infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH. Bonn. https://www.ssoar.info/ssoar/handle/document/79969.

Teborg S, Hünefeld L, Gerdes TS (2024) Exploring the working conditions of disabled employees: a scoping review. Journal of Occupational Medicine and Toxicology 19:1-18. https://doi.org/10.1186/s12995-023-00397-z.

WHO, World Health Organization (2001) International classification of functioning, disability and health: ICF. World Health Organization. Geneva. https://iris.who.int/bitstreams/83e1c3e0-cf9e-4063-a424-71ccc9a84ded/download.

Zeidler R, Burr H, Pohrt A, Hasselhorn HM (2015) Arbeit und Gesundheit. Zentralblatt für Arbeitsmedizin und Arbeitsschutz Ergon 65:149-160. https://doi.org/10.1007/s40664-015-0018-z.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Inklusive Teamarbeit im Kontext digitaler Kommunikationstechnologien – Ein Projekt- und Workshopbericht

Franziska GREIS

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund

Kurzfassung: Digitale Technologien beeinflussen zunehmend die Zusammenarbeit in Teams. Eine Workshopmethode zur inklusiven Teamarbeit zeigt, dass erfolgreiche Technologienutzung von individuellen Kompetenzen, Aufgabenstrukturierung und partizipativer, adaptiver Technologiegestaltung abhängt. Barrierefreiheit versteht sich als Zusammenspiel aus Systemen, Nutzerzentrierung und gesellschaftlichen Werten. Die Ergebnisse liefern praxisrelevante Hinweise für die Gestaltung inklusiver digitaler Arbeitsumgebungen.

Schlüsselwörter: inklusive Teamarbeit, digitale Kommunikationstechnologien, Barrierefreiheit, partizipative Entwicklung

1. Hintergrund

In einer sich immer schneller wandelnden Welt ist vor allem die Digitalisierung ein treibender Faktor. Digitale Lösungen und Künstliche Intelligenz prägen zunehmend die Arbeitsweisen in Unternehmen (Meyer et al. 2022; Rick et al. 2024). Vor allem die digitale Zusammenarbeit mittels Kommunikationstechnologien, wie beispielsweise E-Mail oder Videokonferenz-Tools nimmt zu (Antoni et al. 2024). Für inklusive Teams ist diese Entwicklung besonders relevant, denn der Einsatz von digitalen Technologien bietet zum einen neue Chancen zur Teilhabe als auch neue Risiken der Exklusion.

Chancen gehen beispielsweise durch digitale Bedienungshilfen, veränderte Zugänge zu Informationen (Kunzendorf and Materna 2020) oder Apps für mehr Barrierefreiheit (Heisler and Meier 2020) einher, die Mitarbeitenden mit unterschiedlichen Fähigkeiten den Zugang erleichtern und Barrieren reduzieren können. Demgegenüber stehen Risiken wie mangelnde Usability von Technologien und Systemen (Flory 2023) die zu Exklusion oder Benachteiligung einzelner Teammitglieder führen können.

Besonders im Teamkontext ist dies von Bedeutung, denn eine erfolgreiche Kommunikation, in der aufgabenbezogene Informationen ausgetauscht werden fördert die Teameffektivität (Blay et al. 2024). Somit hängt die Zusammenarbeit stark davon ab, dass alle Beteiligten Informationen gleichberechtigt erhalten und effektiv kommunizieren können. Unterschiede im digitalen Zugang können diese Prozesse einschränken. Dabei ist nicht nur der gelingende Einsatz digitaler Kommunikationsmittel entscheidend, sondern auch die Art und Weise, wie Inklusion im Team gelebt wird. So zeigen Studien, dass gelebte Inklusion mit erhöhter Hilfsbereitschaft, gesteigerter Kreativität und besserer Leistung der Teammitglieder einhergehen kann (Chung et al. 2020).

Damit rückt die Frage nach gelebter Inklusion in Teams zunehmend in den Fokus. Aktuell sind viele der in Teams genutzten digitalen Kommunikationstechnologien noch nicht für alle zugänglich. Daraus ergibt sich ein klarer Forschungsbedarf hinsichtlich der Frage, wie digitale Technologien in inklusiven Teams erfolgreich eingesetzt und wie sie entsprechend gestaltet werden können.

2. Projektvorstellung

Um diesem relevanten Thema zu begegnen bearbeitet die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin das Projekt *Digitale Kommunikationstechnologien für Mixed-Ability-Teams*. Ziel des Vorhabens ist es, den Einfluss des Technologieeinsatzes auf die Prozesse und Ergebnisse der Teamarbeit in Teams zu untersuchen, in denen Personen mit und ohne Sinnesbehinderungen zusammenarbeiten.

Das Projekt ist in drei aufeinander aufbauende Stufen gegliedert. In der ersten Stufe wird eine umfassende Literaturanalyse durchgeführt, die durch problemzentrierte Interviews ergänzt wird. Ziel ist es, Faktoren zu identifizieren, die die Zusammenarbeit auf operativer Ebene beeinflussen, und zu analysieren, welche Variablen durch die Passung zwischen Technologie, Aufgabe und Individuum beeinflusst werden.

Darauf aufbauend ist eine Betriebsstudie geplant, in der Untersuchungen in mindestens vier Teams durchgeführt werden sollen, je zwei mit hör- und zwei mit visuell eingeschränkten Mitgliedern. Hierbei kommen überwiegend qualitative Methoden wie teilnehmende Beobachtungen und Interviews zum Einsatz, um praxisnahe Einblicke in die Zusammenarbeit inklusiver Teams unter Nutzung digitaler Kommunikationstechnologien zu gewinnen.

In der dritten Stufe werden zwei empirische Studien von den Projektmitarbeiterinnen durchgeführt. Die erste Studie untersucht, inwieweit die in den vorherigen Projektschritten gewonnenen Erkenntnisse auf andere Behinderungsformen übertragbar sind. Dazu ist eine quantitative Online-Befragung geplant. Parallel dazu wird eine Laborstudie durchgeführt, in der eine synthetische Teamaufgabe entwickelt wird, um Prozesse und Technologien experimentell zu vergleichen und die Hypothesen aus den vorangegangenen Studien zu überprüfen. Ziel dieser Studie ist es, konkrete Aussagen darüber treffen zu können, wie der Einsatz digitaler Technologien in Teams mit unterschiedlichen Fähigkeiten optimiert werden kann, und daraus fundierte Handlungsempfehlungen für die Praxis abzuleiten.

Im Folgenden werden die Ergebnisse eines Workshops vorgestellt, der im Rahmen einer begleitenden Veranstaltung durchgeführt wurde. Die Inhalte des Workshops stehen dabei in engem Bezug zu den Zielen und Fragestellungen des Projekts und liefern ergänzende Einblicke in die praktische Umsetzung und Wahrnehmung digitaler Kommunikationstechnologien in inklusiven Teams.

3. Workshopergebnisse

Im Rahmen der Tagung *Chancen und Risiken für die Teilhabe in einer sich wandelnden Arbeitswel*t wurde in Kooperation mit der Arbeitsgruppe *Arbeit, Inklusion und Technologie* der Technischen Universität Dortmund (Leitung: Prof. Dr. Frauke Mörike) ein Workshop zum Themenfeld *Inklusive Teamarbeit unter Berücksichtigung des Technologieeinsatzes* durchgeführt. Der Workshop wurde an zwei aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt, mit 21 Teilnehmenden am ersten und 11 Teilnehmenden am zweiten Tag, und hatte das Ziel, Perspektiven und Anforderungen an den Einsatz von Technologien in inklusiven Arbeitsteams zu erfassen.

Methodisch gliederte sich der Workshop in zwei aufeinander aufbauende Phasen. In der ersten Phase stand die Identifikation von Einflussfaktoren im Fokus, die sowohl den Technologieeinsatz als auch die Zusammenarbeit in inklusiven Teams prägen. Hierfür wurde die Think-Pair-Share-Methode eingesetzt. Zur inhaltlichen Strukturie-

rung erhielten die Teilnehmenden drei thematische Kategorien, zur Sammlung relevanter Faktoren: Kompetenzen, Aufgaben und Technologien.

Zunächst identifizierten die Teilnehmenden individuell zentrale Einflussfaktoren und hielten diese schriftlich fest. In einem zweiten Schritt wurden diese Überlegungen in Paaren oder Kleingruppen diskutiert und verdichtet. Vor dem Hintergrund des begrenzten zeitlichen Rahmens priorisierten die Gruppen jeweils drei aus ihrer Sicht besonders relevante Faktoren. Diese priorisierten Ergebnisse wurden anschließend im Plenum vorgestellt und auf einer Pinnwand von den Teilnehmenden selbst den entsprechenden Kategorien zugeordnet. Die entstehende Clusterung bildete die Grundlage für einen offenen Austausch und eine vertiefende Diskussion im Plenum.

Trotz der vorgelagerten Priorisierung ergab sich aufgrund der Gruppengröße eine Vielzahl an benannten Einflussfaktoren. Um eine weitere Verdichtung zu ermöglichen, wurde ein zusätzlicher Priorisierungsschritt durchgeführt. Jede teilnehmende Person erhielt zwei Stimmen in Form von Klebepunkten, die auf die aus individueller Sicht wichtigsten Faktoren verteilt werden konnten. Dabei waren die Stimmen nicht an die drei thematischen Kategorien gebunden, sondern konnten frei vergeben werden. Die Ergebnisse dieses zweiten Priorisierungsschrittes sind in den Tabellen 1 dargestellt und eigen nur die Einflussfaktoren, die mindestens eine Person priorisiert hat.

Die tabellarische Darstellung verdeutlicht, dass sich relevante Einflussfaktoren auf allen drei Ebenen identifizieren lassen und damit unterschiedliche, sich ergänzende Dimensionen inklusiver Teamarbeit adressiert werden. Insgesamt legen die Tabellen nahe, dass inklusive Teamarbeit unter Einsatz von Technologien als mehrdimensionales Zusammenspiel verstanden wird, bei dem technologische Gestaltung, Aufgabenstrukturierung und individuelle wie kollektive Kompetenzen gleichermaßen berücksichtigt werden müssen.

Tabelle 1: Durch die Workshopteilnehmenden k*ategorisierte und priorisierte Einflussfaktoren.*

Tag 1		**Tag 2**	
Kompetenzen		**Kompetenzen**	
Faktoren	A	Faktoren	A
Offenheit & Bereitschaft	3	Persönliche Haltung	3
Soziale Kompetenz (Empathie, Hilfsbereitschaft, etc.)	3	Gegenseitiges Verständnis	2
Empathie	2	Digitale „Etikette“	2
Personengerechter Einsatz	1	Kommunikation	1
Wissen & Beratung über technische Möglichkeiten	1	Über den Tellerrand denken	1
Wissen/Sensibilität	1	Bedarf spezifizieren - Welches Problem lösen? - Welche Technologie passt? - Welche Technologien gibt es überhaupt? - Wer initiiert das?	1
Art der Behinderung	1		
Aufgaben		**Aufgaben**	
Faktoren	A	Faktoren	A
Prozessgestaltung (Aufgabenverteilung, Verantwortungen festlegen)	2	Wissensvermittlung zu Barrieren & Sensibilisierung	2
Arbeitsumfeld	1	Schulung zu technischen Anwendungen	1
Messbar	1		
Technologien		**Technologien**	
Faktoren	A	Faktoren	A
Anwendbarkeit für Alle	8	Personenzentrierter Einsatz / bzw. Auswahl von Technologien	1
Barrierefreiheit (baulich, digital, Schnittstelle Hilfsmittel)	5	Technik beherrschen (Stichwort: barrierefrei)	1
Betrieb in Planungsphase zur Entwicklung von Software, Barrierefreiheit berücksichtigen	4		

A= Anzahl der Stimmen aus der zweiten Phase der Priorisierung

Die zweite methodische Phase verfolgte einen stärker kreativen und gestalterischen Ansatz. In Kleingruppen entwickelten die Teilnehmenden mithilfe einer Auswahl an Piktogrammen Entwürfe einer „optimalen Technologie für alle“. Die Piktogramme konnten frei kombiniert, räumlich angeordnet und durch eigene Notizen oder

Zeichnungen ergänzt werden. Den Gruppen stand es offen, entweder einen konkreten Anwendungskontext zu wählen oder allgemeine Anforderungen an Technologien zu thematisieren. Ziel dieser Phase war es, Anforderungen an Technologien sowie notwendige Rahmenbedingungen zu erfassen. Die erarbeiteten Entwürfe wurden abschließend im Plenum vorgestellt und erläutert.

Die Ergebnisse der kreativen Aufgabe zeigen unterschiedliche, sich jedoch ergänzende Perspektiven auf Barrierefreiheit und Technologieentwicklung. Eine Gruppe stellte gesellschaftliche Werte und Haltungen in den Mittelpunkt. Barrierefreie Technologien wurde dabei als Prozess betrachtet, der durch gesellschaftliche Werte geprägt ist. Gemeinsame Werte und eine gesellschaftliche Haltung sollen Barrierefreiheit flächendeckend zu einer Selbstverständlichkeit verhelfen. Diese Haltung solle als leitender Orientierungsrahmen für die Entwicklung von Technologien dienen und bereits früh im Lebensverlauf vermittelt werden. Assistenzsysteme wurden als zentrale Schnittstelle zwischen Menschen und Technologie hervorgehoben, verbunden mit der Forderung nach einer weniger leistungsorientierten und stärker personenzentrierten Sichtweise. Ziel dieses Prozesses sei eine Normalisierung von Barrierefreiheit, die mit Selbstverständlichkeit und Leichtigkeit einhergeht.

Eine weitere Gruppe wählte mit einer Ampel bewusst eine konkrete, alltagsnahe Technologie und erweiterte diese um barrierefreiheitsfördernde Funktionen. Im Zentrum stand dabei die multiperspektivische Informationsvermittlung. Informationen sollten visuell, auditiv und zusätzlich über drahtlose Schnittstellen an unterschiedliche Endgeräte übermittelt werden. Die Auswahl verschiedener Endgeräte, etwa Smartphone oder Walkie-Talkie, verdeutlichte dabei auch generationenspezifische Zugänge zu Technologie. Zugleich wurde betont, dass technologische Entwicklungen grundsätzlich gemeinsam mit einer vielfältigen Zielgruppe erfolgen sollten.

Andere Gruppen fokussierten stärker allgemeine Gestaltungsprinzipien zukünftiger Technologien. So wurde der Wunsch nach modular aufgebauten Systemen formuliert, die über eine zentrale Hauptfunktion verfügen und durch zusätzliche Module individuell anpassbar sind. Barrierefreiheit wurde dabei nicht als Sonderfunktion verstanden, sondern als integraler Bestandteil technologischer Gestaltung. Wiederholt betont wurde die Bedeutung von Individualisierbarkeit, etwa durch anpassbare Kontraste, Farben oder Sprachausgabe, sowie die Möglichkeit, Funktionen je nach Bedarf zu aktivieren oder zu deaktivieren. Darüber hinaus wurde die Relevanz iterativer Weiterentwicklung hervorgehoben, bei der Nutzendenfeedback systematisch berücksichtigt wird.

Ergänzend formulierten einzelne Gruppen auch konkrete Zukunftswünsche, etwa nach Technologien zur automatischen Gesichtserkennung mit informationsunterstützender Rückmeldung oder nach Displays, deren Größe flexibel an unterschiedliche Nutzungssituationen angepasst werden kann. Insgesamt verdeutlichen die Workshop-Ergebnisse, dass Barrierefreiheit aus Sicht der Teilnehmenden weniger als technisches Einzelmerkmal, sondern vielmehr als Zusammenspiel aus gesellschaftlichen Haltungen, partizipativer Entwicklung und flexiblen, anpassbaren Technologien verstanden wird.

4. Diskussion

Die Ergebnisse des Workshops liefern differenzierte Hinweise darauf, welche Faktoren aus Sicht der Teilnehmenden besonders relevant für inklusive Teamarbeit unter

Einsatz von Technologien sind. Die Perspektiven aus beiden vorgestellten methodischen Vorgehensweisen zeigen, dass inklusive Teamarbeit sowohl auf strukturelle als auch individuelle und technologische Aspekte angewiesen ist.

Diese Sichtweise deckt sich mit der Literatur (bspw. Trenerry et al. 2021). So zeigen beispielsweise etablierte Modelle wie das *Fit Between Individuals, Tasks, Technology, and Environment (FITTE) Framework (Prgomet et al. 2019)* oder auch das *Interdependence for assistive technology design Framework* (Bennett et al. 2018) die gegenseitige Abhängigkeit von Einflussfaktoren. Des Weiteren verdeutlichen sie die Notwendigkeit, diese Einflussfaktoren gezielt aufeinander abzustimmen, um einen erfolgreichen Technologieeinsatz im Team zu ermöglichen. Der Einfluss beziehungsweise mögliche Hürden durch den Einsatz assistiver Technologien wurden von den Teilnehmenden nicht thematisiert. Im Workshop selbst nutzte keine der anwesenden Personen entsprechende Hilfsmittel, was als möglicher Hinweis auf das Ausbleiben dieser Thematik interpretiert werden kann. Vor diesem Hintergrund erscheint es für die Zusammenarbeit in Teams relevant zu untersuchen, inwieweit eine Sensibilisierung oder Schulung von Teammitgliedern im Hinblick auf assistive Technologien erforderlich ist.

In der kreativen Phase entwarfen die Teilnehmenden Ideen für Ansätze und Technologien, die über die rein funktionale Ebene hinausgehen und Barrierefreiheit nicht nur als technisches Feature, sondern als Ausdruck gesellschaftlicher Werte und Haltungen darstellen, die frühzeitig vermittelt und in ein System integriert werden sollten. Die Entwicklung eines *inclusive Mindset* wird in der Literatur zunehmend als zentraler Faktor diskutiert. Ein solches Mindset wird „durch diverse verschiedene Faktoren geprägt, darunter soziale Normen, kulturelle Einflüsse, globale Trends, Lernmaßnahmen (z. B. Schulungs- oder Bildungsprogramme) sowie Interaktionen mit Menschen mit unterschiedlichen Hintergründen und Fähigkeiten“ (Tongkaew and Lomberg 2024, eigene Übersetzung). Gleichzeitig legten andere Kleingruppen den Fokus auf alltagsnahe Technologien, wie etwa Ampelsysteme, die durch barrierefreiheitsfördernde Funktionen erweitert wurden, um Informationen multiperspektivisch und für unterschiedliche Nutzergruppen zugänglich zu machen. Wiederholt betonten die Teilnehmenden die Bedeutung modularer, individuell anpassbarer Systeme, die durch iterative Entwicklungsprozesse kontinuierlich an Nutzendenfeedback angepasst werden. Studien zeigen, dass die Teilhabe der Zielgruppe an Entwicklungsprozessen sowohl positiven Einfluss auf die Entwicklung der Technologie nimmt als auch positiv auf die Zielgruppe selbst wirkt (Mildenberger et al. 2022). Des Weiteren zeigten die Autor*innen Moreno Martínez et al., dass eine Zielgruppe in alle Prozesse des Software-Lebenszyklus einbezogen werden sollen, „vom Entwurf über Systemtests bis hin zu den dazwischenliegenden Phasen“ (Moreno Martínez et al. 2023, 895, eigene Übersetzung).

Zusammen betrachtet liefern die priorisierten Einflussfaktoren und die kreativen Entwürfe ein konsistentes Bild: Inklusive Teamarbeit unter Einsatz von Technologien erfordert die Integration individueller Kompetenzen in Aufgabenprozesse, die partizipative, iterative und adaptive Gestaltung von Technologien sowie die Einbettung inklusiver Werte in Systeme. Die multidimensionale Perspektive der Teilnehmenden unterstreicht, dass technologische Lösungen nur dann inklusiv wirken, wenn sie gleichzeitig die praktischen Bedürfnisse der Nutzer:innen berücksichtigen, partizipativ entwickelt und in eine wertebasierte Kultur eingebettet werden.

5. Literatur

Antoni CH, Bernardy V, Niesen AT, Trieb R, Grün U (2024) vLead-IdeaCheck – eine online Plattform zum Ideenmanagement für Unternehmen. In: Antoni CH, Hellert U, Latniak E (eds) Digitale Führung und Zusammenarbeit: Konzepte, Tools, Erfahrungen Für Die Arbeitswelt 4. 0, 1st edn. Springer Berlin / Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 79–114

Bennett CL, Brady E, Branham SM (2018) Interdependence as a Frame for Assistive Technology Research and Design. In: Hwang F, McGrenere J, Flatla D (eds) Proceedings of the 20th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility. ACM, New York, NY, USA, pp 161–173. https://doi.org/10.1145/3234695.3236348

Blay T, Froese FJ, Taras V, Gunkel M (2024) Convergence of collaborative behavior in virtual teams: The role of external crises and implications for performance. J Appl Psychol 109:469–489. https://doi.org/10.1037/apl0001133

Chung BG, Ehrhart KH, Shore LM, Randel AE, Dean MA, Kedharnath U (2020) Work Group Inclusion: Test of a Scale and Model. Group & Organization Management 45:75–102. https://doi.org/10.1177/1059601119839858

Flory M (2023) Der Kampf um die Köpfe – Sensibilisierung und Motivation für das Thema Barrierefreiheit. In: Fröhlich P, Cobus V (eds) Mensch und Computer 2023 – Workshopband. GI

Heisler D, Meier J (2020) Berufliche Förderung in Zeiten von Digitalisierung und Berufsbildung 4.0. In: Heisler D, Meier JA (eds) Digitalisierung am Übergang Schule Beruf. Ansätze und Perspektiven in Arbeitsdomänen und beruflicher Förderung. wbv Publikation, Bielefeld, pp 9–30

Kunzendorf M, Materna D (2020) Digitalisierung – ein „eMotor“ für berufliche Inklusion?! In: Heisler D, Meier JA (eds) Digitalisierung am Übergang Schule Beruf. Ansätze und Perspektiven in Arbeitsdomänen und beruflicher Förderung. wbv Publikation, Bielefeld, pp 187–210

Meyer S-C, Hartwig M, Tisch A, Wischniewski S (2022) VIII. Künstliche Intelligenz am Arbeitsplatz: Verbreitung und Hinweise auf Zusammenhänge mit Arbeitsqualität. In: Tisch A, Wischniewski S (eds) Sicherheit und Gesundheit in der digitalisierten Arbeitswelt. Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, pp 313–334. https://doi.org/10.5771/9783748927372-313

Mildenberger T, Schmier A, Zorn I (2022) Literaturreview zu partizipativer Technologieentwicklung in der Behinderten- und Erziehungshilfe im Kontext Sozialer Arbeit. Soz Passagen 14:441–455. https://doi.org/10.1007/s12592-022-00439-z

Moreno Martínez C, Piorno JR, Escribano Otero JJ, Guijarro Mata-García M (2023) Responsive inclusive design (RiD): a new model for inclusive software development. Univ Access Inf Soc 22:893–902. https://doi.org/10.1007/s10209-022-00893-9

Prgomet M, Georgiou A, Callen J, Westbrook J (2019) Fit Between Individuals, Tasks, Technology, and Environment (FITTE) Framework: A Proposed Extension of FITT to Evaluate and Optimise Health Information Technology Use. Stud Health Technol Inform 264:744–748. https://doi.org/10.3233/SHTI190322

Rick VB, Stebner M, Dräger L, Franken A, Mertens A, Nitsch V (2024) Effects of AI-based technologies on employees' work engagement: Implications for the human-centered design of digital work. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 78:323–334. https://doi.org/10.1007/s41449-024-00438-1

Tongkaew A, Lomberg C (2024) Conceptualising an Inclusive Mindset: A Scoping Review and Framework for Engineering Education. In: Zufferey JD, Langie G, Tormey R, Nagy BV (eds) Book of Proceedings for the 52nd Annual Conference of the European Society for Engineering Education: Educating Responsible Engineers. Zenodo, pp 250–265

Trenerry B, Chng S, Wang Y, Suhaila ZS, Lim SS, Lu HY, Oh PH (2021) Preparing Workplaces for Digital Transformation: An Integrative Review and Framework of Multi-Level Factors. Front Psychol 12:620766. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.620766

Weiterbildungsbedarf von MmB in Tagesstrukturen für Tätigkeiten im Gartenbau

Elisabeth QUENDLER, Rebecca GUTKAS

Institut für Landtechnik, BOKU University
Peter Jordan Straße 82, A-1190 Wien

Kurzfassung: Die Integration von Menschen mit Behinderung (MmB) in den Arbeitsmarkt erfordert gezielte Weiterbildungsmaßnahmen, insbesondere in Tagesstrukturen. Der Gartenbau bietet eine ideale Grundlage, da er durch überschaubare und handwerkliche Tätigkeiten geeignet ist, die individuellen Fähigkeiten zu fördern. Acht Interviews mit Sozialpädagoginnen, Sozialbetreuer*innen und gartenbaulichem Fachpersonal wurden transkribiert und mit qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring ausgewertet. Die Untersuchung zeigt, dass praxisorientierte Schulungen, klare Strukturen und Leichte Sprache entscheidend sind, um MmB nachhaltig zu befähigen. Visuelle Hilfsmittel wie Piktogramme und Bilder unterstützen das Verständnis. Tätigkeiten wie Ernten, Gießen, Jäten und Umtopfen wurden als besonders geeignet identifiziert. Individuelle Betreuung und regelmäßige Wiederholungen sind notwendig, um die Inhalte zu verinnerlichen.

Schlüsselwörter: MmB, Interviews, Gartenbau, Tätigkeiten

1. Einleitung

Die berufliche Integration von Menschen mit Behinderung (MmB) ist ein zentraler Bestandteil einer inklusiven Gesellschaft und wird durch die UN-Behindertenrechtskonvention (UN-BRK) sowie den Nationalen Aktionsplan Behinderung (NAP 2012–2020) in Österreich gefördert. Trotz dieser rechtlichen Grundlagen bleibt der Zugang zum Arbeitsmarkt für MmB, insbesondere für jene in Tagesstrukturen, eine Herausforderung.

Tagesstrukturen bieten Beschäftigungstherapie, die MmB zwar fördert, jedoch häufig keine nachhaltige berufliche Perspektive bietet (BMASGK, 2017a).

Der Gartenbau stellt ein vielversprechendes Tätigkeitsfeld für die Inklusion von MmB dar, da er überschaubare, handwerkliche Tätigkeiten umfasst, die keine hohen technischen Anforderungen stellen. Studien zeigen, dass gärtnerische Tätigkeiten nicht nur die Selbstständigkeit fördern, sondern auch positive Auswirkungen auf die physische und psychische Gesundheit haben können. Sie bieten Struktur, Sinnhaftigkeit und soziale Interaktion, die für die Entwicklung von MmB entscheidend sind (Carl, 2004; Hermanowski, 2006). Durch die Kooperation zwischen sozialen Einrichtungen und privaten Gartenbaubetrieben bietet der Gartenbau eine Möglichkeit zur überbetrieblichen Zusammenarbeit, die sowohl den Betrieben als auch MmB neue Chancen eröffnet.

Soziale Einrichtungen wie Beschäftigungstherapiewerkstätten nutzen den Gartenbau gegenwärtig aufgrund seiner Struktur und Handarbeit, die für MmB leicht erlernbar sind. Dennoch fehlen oft gezielte Weiterbildungsmaßnahmen, die die spezifischen Bedürfnisse von MmB berücksichtigen und ihre berufliche Teilhabe fördern (BMASGK, 2017a).

Folglich war Ziel einer Teilstudie vom Projekt IRMA (Sozial nachhaltige Inklusion von MmB in Arbeitsprozesse des Gartenbaus), den Schulungs- und Assistenzbedarf für Menschen mit Behinderung von Tagesstrukturen für Tätigkeiten im Gartenbau zu erfragen. Dieser soll eine nachhaltige berufliche Teilhabe von MmB im Gartenbau ermöglichen.

2. Material und Methode

Es wurden acht Fachpersonen aus dem Garten- und Zierpflanzenbau sowie Sozialpädagog*innen der Tagesstruktur (Beschäftigungstherapie) befragt. Die Auswahl der Interviewpartner*innen erfolgte durch die Forscherin. Die Mehrheit waren Stakeholder des Projekts IRMA, das die sozial nachhaltige Inklusion von MmB in Arbeitsprozesse des Gartenbaus verfolgte. Alle Befragten verfügten über eine pädagogische Aus- beziehungsweise Weiterbildung und waren in Sozialeinrichtungen oder Gartenbaubetrieben tätig. Praktische Erfahrung sowie unmittelbarer Bezug zu MmB und gartenbaulichen Tätigkeiten waren Teilnahmevoraussetzungen, um die betriebliche Praxisperspektive zu ergänzen.

In dieser Studie wurde ausschließlich die subjektive Sicht der Befragten behandelt. Auch Augusteyns (2016) verknüpfte in ihrer Arbeit zu Tätigkeiten von MmB und therapeutischen Maßnahmen qualitative Sozialforschung mit praxisnaher Analyse. Mittels qualitativer Inhaltsanalyse lässt sich inhaltlich individuell erschließen, was für den hier gegebenen, bislang unzureichend beforschten Gegenstand besonders geeignet ist. Qualitative Inhaltsanalyse ist Teil einer Kommunikationskette und knüpft an alltägliche Prozesse des Verstehens und Interpretierens an; die Sicht der Betroffenen steht im Zentrum. Die Interviewtranskripte wurden mittels qualitativer Inhaltsanalyse ausgewertet, mit dem Ziel, Zusammenhänge und Bedeutungen nachvollziehbar aufzubereiten und darauf aufbauend Interpretationen abzuleiten. Die Auswertung folgte den Schritten Zusammenfassung, Explikation und Strukturierung (vgl. Mayring, 2008).

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass gartenbauliche Tätigkeiten für MmB grundsätzlich zugänglich und förderlich sind, wenn sie an deren Fähigkeiten angepasst werden. Tätigkeiten wie Ernten, Gießen, Jäten, Umtopfen und Pflegearbeiten wurden von den Befragten als besonders geeignet beschrieben. Diese Aufgaben sind strukturiert, wiederholbar und können individuell angepasst werden und erleichtern den Lernprozess. Komplexere Tätigkeiten wie Maschinenbedienung oder Fräsen stellen jedoch größere Herausforderungen dar und erfordern zusätzliche beziehungsweise ergänzende Schulungen und Unterstützung.

Die Weiterbildungsmaßnahmen für MmB sind spezifisch auf deren Bedürfnisse zuzuschneiden. Besonders wichtig ist die schrittweise Einführung in neue Aufgaben, verbunden mit praktischen Übungen. Wiederholungen und visuelle Unterstützung durch Bilder oder Piktogramme wurden als entscheidend für den Lernerfolg beschrieben. Diese Erkenntnisse stehen im Einklang mit der Literatur, die die Bedeutung von praxisorientierten Lernmethoden für MmB hervorhebt (vgl. Abend, 2014; Hermanowski, 2006).

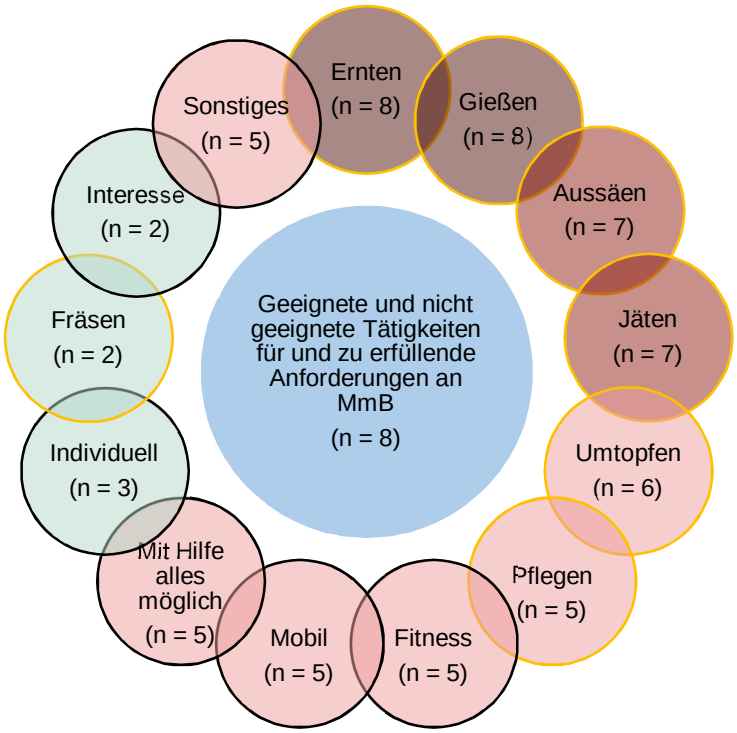


Abbildung 1: *Tätigkeiten und Anforderungen für MmB aus Sicht der Befragten, n = 8; Mehrfachnennungen, 2019.*

Sehr häufig war die Nennung der Tätigkeit „Ernten“. Sie wurde als besonders zugänglich und motivierend für MmB beschrieben. Weiterbildungsangebote sind folglich gezielt auf Tätigkeiten auszurichten sowie auch aufgrund der verschiedenen Arbeitshilfsmittel-Mensch-Produktionsmittel-Interaktion.

3.1 Aufnahme- und Lernfähigkeit von MmB

Die Befragten hoben hervor, dass die Lernfähigkeit von MmB stark von individuellen Faktoren wie Tagesform, Art der Behinderung und Motivation abhängt. Im Durchschnitt liegt die Aufnahmefähigkeit bei etwa 30 Minuten (6/8 Nennungen), wobei ständige Wiederholungen und visuelle Unterstützung die Konzentration und das Verständnis fördern. Die Einführung von Leichter Sprache wurde von der Mehrheit der Befragten (7/8 Nennungen) als zentraler Bestandteil von Schulungsunterlagen beschrieben. Ergänzend dazu wurden Piktogramme (6/8) und einfache visuelle Hilfsmittel als besonders hilfreich angesehen, um komplexe Inhalte zugänglich zu machen.

Die Interviews verdeutlichten, dass Weiterbildungsangebote auf die spezifischen Lernbedürfnisse von MmB abgestimmt werden müssen. Strukturierte Inhalte, klare Zielsetzungen und ein praxisorientierter Ansatz sind essenziell, um den Lernprozess effektiv zu gestalten. Die Verwendung von Leichter Sprache und Piktogrammen ermöglicht es MmB, komplexe Inhalte besser zu verstehen und anzuwenden. Diese Ansätze stehen im Einklang mit der Forschung, die darauf hinweist, dass visuelle Unterstützung und einfache Sprache den Lernprozess erheblich verbessern können (vgl. Abend, 2014; Dworsky/Völz, 2016).

Ein weiterer zentraler Punkt ist die Bedeutung der Wiederholung und der praktischen Anwendung des Gelernten. Mehrere Interviewpartner*innen betonten

(6/8), dass die Einführung neuer Aufgaben in kleinen Schritten sowie die ständige Wiederholung zur Festigung des Wissens notwendig sind. Dies unterstreicht die Notwendigkeit von Weiterbildungsprogrammen, die nicht nur einmalig angeboten werden, sondern kontinuierlich stattfinden, um die Nachhaltigkeit des Gelernten sicherzustellen.

3.2 Durchhalte- und Konzentrationsvermögen von MmB

Auch das Durchhalte- und Konzentrationsvermögen von MmB variiert und ist von Faktoren wie der Tagesverfassung, der Art der Tätigkeit und Motivation abhängig. Die Befragten schätzten die maximale Konzentrationsdauer auf etwa 30 bis 40 Minuten (5/8 Nennungen), wobei regelmäßige Pausen und ein abwechslungsreicher Arbeitsalltag als förderliche Maßnahmen genannt wurden.

Diese Erkenntnis hat direkte Implikationen für die Gestaltung von Weiterbildungsangeboten. Schulungseinheiten sollten daher zeitlich begrenzt sein und durch regelmäßige Pausen sowie Auflockerungsübungen ergänzt werden. Stress und Zeitdruck wirken sich negativ auf die Leistung von MmB aus und sollten daher vermieden werden. Stattdessen sollten Schulungen in einem unterstützenden und stressfreien Umfeld stattfinden, das den individuellen Bedürfnissen der Teilnehmer*innen Rechnung trägt.

3.3 Anforderungen an die Organisation und Durchführung von Schulungen

Die Befragten waren sich einig, dass Schulungen sowohl theoretische als auch praktische Inhalte umfassen sollten, die eng miteinander verknüpft sind (8/8 Nennungen). Praktische Übungen wurden als besonders wichtig erachtet, um das Verständnis und die Motivation von MmB zu fördern. Die Theorie sollte dabei direkt auf die Praxis angewendet werden, um eine nachhaltige Lernwirkung zu erzielen.

Für das Stattfinden der Schulungen ist möglichst eine vertraute Umgebung zu wählen, wie beispielsweise Gewächshäuser für die Tomatenernte oder der Arbeitsplatz, zum Beispiel die Verpackungsstation. Dies erleichtert den Schulenden die Orientierung und reduziert potenziellen Stress, der durch neue oder ungewohnte Umgebungen entstehen kann. Strukturierte Abläufe und klare Regeln wurden ebenfalls als wichtig erachtet (6/8), um den Schulungsprozess zu unterstützen und den Teilnehmenden Sicherheit zu geben.

3.4 Anforderungen an Schulungsunterlagen und Medien

Ein zentrales Ergebnis der Interviews war die Gestaltung von Schulungsunterlagen für MmB. Die Verwendung von Leichter Sprache (7/8 Nennungen), Bildern (6/8), Piktogrammen (6/8) und einfachen Anleitungen wurde als entscheidend für den Lernerfolg beschrieben. Die Befragten betonten, dass die Schulungsunterlagen visuell ansprechend und leicht verständlich gestaltet sein sollten, um den Zugang zu den Inhalten zu erleichtern. Ergänzend dazu wurden digitale Medien wie kurze Videos (5/8) und interaktive Lernplattformen (4/8) als sinnvolle Ergänzung genannt.

Die Nutzung von Blended-Learning-Ansätzen wurde ebenfalls diskutiert. Während einige Befragte den Einsatz digitaler Medien als Ergänzung begrüßten, wiesen andere auf mögliche Herausforderungen hin, wie die fehlende technische Ausstattung oder die geringe Verbreitung von Computern und Smartphones unter MmB. Dennoch bietet Blended Learning Potenzial, insbesondere durch die Nutzung von Touchscreens,

Apps und einfachen interaktiven Tools, die auf die Bedürfnisse von MmB abgestimmt sind (vgl. Benda und Šmejkalová, 2015, vgl. Kerres et al., 2004).

3.5 Betreuung und Infrastruktur

Eine gute Betreuung und angepasste Infrastruktur ist gemäß Befragten maßgeblich mitverantwortlich für den Erfolg von Weiterbildungsangeboten im Gartenbau. Betreuer*innen spielen eine zentrale Rolle, da sie die Schulungen mitabsolvieren sowie mitgestalten und auch als Vertrauenspersonen sowie Unterstützer*innen fungieren. Eine enge und kontinuierliche Begleitung während der Schulungen gibt MmB Sicherheit und fördert das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten (7/8 Nennungen).

Eine barrierefreie Infrastruktur ist nicht nur notwendig, um allen MmB die Teilnahme an Weiterbildungsangeboten, sondern auch in Folge die Mitarbeit zu ermöglichen. Beispiele hierfür sind breitere Wege, rollstuhlgerechte Zugänge und erhöhte Beete, die die Arbeit im Gartenbau erleichtern (5/8 Nennungen). Solche Maßnahmen sind entscheidend für die praktische Durchführung der Schulungen sowie die langfristige Integration von MmB in den Arbeitsalltag im Gartenbau.

4. Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass ein branchenspezifischer und tätigkeitsbezogener Weiterbildungsbedarf für MmB in Tagesstrukturen besteht, um Tätigkeiten im Gartenbau erfolgreich auszuführen. Schulungsprogramme sollten individuell auf die Bedürfnisse und Fähigkeiten der Teilnehmer*innen abgestimmt sein und sowohl praktische als auch theoretische Inhalte umfassen. Wichtige Aspekte sind die Verwendung von Leichter Sprache (7/8), visueller Unterstützung (6/8), regelmäßigen Wiederholungen (6/8) sowie die schrittweise Einführung in neue Aufgaben.

Darüber hinaus müssen Schulungen flexibel gestaltet sein, um dem variierenden Konzentrations- und Durchhaltevermögen von MmB Rechnung zu tragen. Regelmäßige Pausen und ein unterstützendes Umfeld sind essenziell, um den Lernerfolg zu maximieren. Die Betreuung durch qualifizierte Fachpersonen sowie eine barrierefreie Infrastruktur sind weitere Voraussetzungen für die erfolgreiche Umsetzung von Weiterbildungsmaßnahmen und Inklusion in die Gartenbaupraxis.

Zukünftige Forschungsarbeiten könnten sich darauf konzentrieren, digitale Medien und interaktive Lernplattformen gezielt für MmB zu entwickeln und deren Einsatz in Schulungsprogrammen zu evaluieren. Zudem sollte untersucht werden, wie die Nachhaltigkeit des Gelernten durch kontinuierliche Schulungen und coachende Betreuung verbessert werden kann. Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass der Gartenbau ein inklusiver Arbeitsbereich mit großem Potenzial für die Förderung und Inklusion von MmB ist – vorausgesetzt, die Schulungen sind bedarfsgerecht und praxisnah gestaltet.

5. Literatur

Abend S (2014) Einfache Sprache als neue Form verständlicher Kommunikation. In: Leichte Sprache – Eine Einführung, 76–78. München: Verlag für Sozialwissenschaften.

Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Landbau (AGÖL) (2000) Leitfaden Ökologischer Landbau in Werkstätten für Behinderte. Darmstadt, Deutschland: VAS.

Augusteyns E A (2016) Lebens- und Arbeitsqualität von Menschen mit Behinderung durch Tätigsein in der Landwirtschaft und gezielte pädagogisch-therapeutische Maßnahmen - Am Beispiel des Vereins Silbersberg, Universität für Bodenkultur Wien: Landtechnik, Masterarbeit.

Benda P, Šmejkalová M (2015): Web interface for education of mentally disabled persons for work in horticulture. Agris on-line Papers in Economics and Informatics. 7(1): 13-19.

Bergelt D, Goldbach A, Seidel A (2016): Leichte Sprache im Arbeitsleben: Analyse der Nutzung von Texten in Leichter Sprache im beruflichen Kontext von Menschen mit Lernschwierigkeiten. Magazin der Bundesgemeinschaft für Unterstützte Beschäftigung 78(3): 6-12.

Brinkmann A, Burrichter R, Decker C (2009) Lernprozesse professionell begleiten. Berlin, Deutschland: LIT.

Bundesministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Konsumentenschutz (BMASGK) (2017a) Bericht der Bundesregierung über die Lage der Menschen mit Behinderung in Österreich 2016. Zugriff 15.05.2019. https://broschuerenservice.sozialministerium.at/ Home/Download? publicationId=428

Carl, M (2004) Therapeutische Wirkung von Land- und Gartenbau bei Menschen mit geistiger und seelischer Behinderung, München, Deutschland: GRIN.

Dworski, A, Völz C (2016) Kritik ohne ExpertInnen – Menschen mit Lernschwierigkeiten werden von der Debatte um Leichte Sprache ausgeschlossen. Magazin der Bundesarbeitsgemeinschaft für Unterstützte Beschäftigung 78 (3): 6-12.

Filgueiras E, Vilar E, Rebelo F (2012) Support system for the professional integration of people with disability into the labour market. Special Section: Work on Ergonomics and People with Disabilities, 50 (4): 563–573.

Hermanowski Robert (2006): Soziale Leistungen der Landwirtschaft. Ökologie und Landbau, 139 (3) 14-17.

Kam M C Y, Siu A M H (2010) Evaluation of a horticultural activity programme for persons with psychiatric illness. Hong Kong Journal of Occupational Therapy 20 (2), 80-86.

Kerres M, Claudia de Witt C (2004) Pragmatismus als theoretische Grundlage für die Konzeption von eLearning. Horst O. Mayer / Dietmar Treichel (Hrsg.) Handlungsorientiertes Lernen und eLearning: Grundlagen und Praxisbeispiele, München, Deutschland: Oldenbourg, 77-99.

Mayring, P. (2008): Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken. 10. Auflage. Weinheim: Beltz, Deutschland.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Projektes IRMA dieser Teilstudie sowie den Expert*innen der befragten Gartenbaubetriebe und Sozialeinrichtungen für die wertvolle aktive Mitarbeit im Sinne der Inklusion von MmB in Tagesstrukturen.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Eine qualitative Analyse von Handlungslogiken in den Forschungs-Praxis-Systemen der Regionalen Kompetenzzentren der Arbeitsforschung

Jonas KUHN, Antonia MARKUS, Esther BOROWSKI, Ingrid ISENHARDT

Lehrstuhl für Informations-, Qualitäts- und Sensorsysteme in der Produktion (IQS)
WZL | RWTH Aachen University, Campus-Boulevard 30, D-52074 Aachen

Kurzfassung: Der Beitrag untersucht explorativ, wie unterschiedliche wissenschaftliche und betriebliche Handlungslogiken in transdisziplinären Projekten der Arbeitsforschung aufeinandertreffen. Auf Basis qualitativer Interviews mit drei Regionalen Kompetenzzentren und unter Rückgriff auf systemtheoretische sowie institutionalistische Perspektiven werden erste Hinweise auf die Bedeutung von Kommunikationspraktiken, Rollenverständnissen und organisationalen Strukturen für kooperative Forschungsprozesse herausgearbeitet.

Schlüsselwörter: Arbeitsforschung, Institutionslogiken, ReKodA, Systemdifferenzierung, Transdisziplinarität, Wissensintegration

1. Einführung

Die Zusammenarbeit zwischen Forschung und betrieblicher Praxis ist ein zentrales Element arbeitswissenschaftlichen Wirkens, insbesondere dort, wo angewandte Forschung auf konkrete unternehmerische Bedarfe trifft. Zugleich zeigen zahlreiche Beiträge der Arbeits- und Transferforschung, dass Kooperationsprozesse zwischen diesen Akteursgruppen von unterschiedlichen Erwartungshorizonten geprägt sein können. Während Forschungsakteure ihre Arbeit in der Regel an erkenntnisgeleiteten, theoriebezogenen und iterativen Vorgehensweisen ausrichten, forcieren kleine und mittlere Unternehmen (KMU) stärker zeitnahe, pragmatische und nutzenorientierte Lösungen, die sich unmittelbar in bestehende Arbeitsprozesse integrieren lassen (Borowski et al. 2023).

In der Forschung wird zunehmend darauf hingewiesen, dass Schwierigkeiten in der Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis weniger auf fehlendes Wissen als vielmehr auf strukturelle und organisationale Bedingungen zurückzuführen sind. Unterschiedliche Formen der Wissensproduktion, divergierende Verständnisse von Relevanz sowie etablierte organisationale Routinen beeinflussen maßgeblich, wie Forschungsergebnisse aufgenommen, interpretiert und umgesetzt werden (Hohlbaum et al. 2023). Transferprozesse lassen sich vor diesem Hintergrund nicht als linearer Wissenstransfer begreifen, sondern als komplexe Kooperationszusammenhänge, in denen verschiedene Akteursgruppen mit jeweils eigenen Zielsetzungen, Erwartungen und Arbeitsweisen aufeinandertreffen (Cernavin & Joerißen 2023).

Besonders in transdisziplinären Forschungsprojekten, in denen wissenschaftliche und Akteure der betrieblichen Praxis gemeinsam an der Bearbeitung arbeitsbezogener Fragestellungen beteiligt sind, werden diese Unterschiede sichtbar. Hier treffen unterschiedliche Handlungslogiken, Zeitvorstellungen und Verständnisse von geeigneten Ergebnissen aufeinander und müssen im Projektverlauf verhandelt werden. Die Art

und Weise, wie diese Aushandlungsprozesse gestaltet werden, ist entscheidend für den Erfolg der Zusammenarbeit.

2. Theoretischer Rahmen

Die theoretische Verortung des Beitrags stützt sich auf die Einbindung der Systemtheorie und der Theorie institutioneller Logiken, da beide Zugänge unterschiedliche, aber komplementäre Aspekte der Zusammenarbeit zwischen Forschung und betrieblicher Praxis ermöglichen.

Niklas Luhmanns Systemtheorie (1984) beschreibt soziale Systeme als Kommunikationszusammenhänge, die ihre eigene Ordnung durch selektive Anschlussfähigkeit reproduzieren. Die Systeme Wissenschaft und Wirtschaft folgen jeweils eigenen Funktionslogiken, die Erwartungen, Entscheidungsprozesse und Zeitregime prägen. Während wissenschaftliche Kommunikation durch Iterationen, Begründungspflicht und Offenheit gegenüber theoretischer Revision bestimmt ist, orientiert sich wirtschaftliches Handeln an Effizienz, Entscheidungsdruck und unmittelbarer Problemlösung (Arnoldi 2001). Dadurch entstehen unterschiedliche Erwartungsstrukturen, die in kooperativen Forschungsprozessen aufeinandertreffen. Die Kommunikation zwischen diesen Systemen erfordert strukturelle Kopplungen wie Projektorganisationen, Verträge, Rollen oder gemeinsame Workshops, die wechselseitig Anschlussfähigkeit erzeugen, ohne die Eigenlogik der Systeme aufzuheben (Baecker 2001).

Die Theorie institutioneller Logiken bietet hierzu einen ergänzenden Zugang. Sie versteht Handlungslogiken als kulturell-materielle Ordnungssysteme, die Akteuren Orientierung bieten und ihre Wahrnehmungen, Zielsetzungen sowie Praktiken prägen (Thornton et al. 2012). Wissenschaftliche und betriebliche Logiken unterscheiden sich nicht nur in ihren Zielsystemen, sondern auch in ihren epistemischen Kulturen, Verständnissen von Relevanz und legitimen Formen der Wissensproduktion. In transdisziplinären Forschungsprojekten koexistieren diese Logiken und müssen miteinander in Einklang gebracht werden. Reay und Hinings (2009) zeigen, dass Akteure in solchen Konstellationen kontinuierliche Aushandlungsarbeit leisten, um rivalisierende Logiken in Praktiken, Rollen und Strukturen zu vermitteln. Besharov und Smith (2014) ergänzen, dass gerade hybride Organisationen wie Forschungsverbünde mit Praxispartnern variierende Orientierungsmuster ausprägen, die sowohl Konflikte als auch innovative Lösungswege hervorbringen können.

Ansätze, die systemtheoretische und institutionalistische Perspektiven systematisch zusammenführen, sind bislang vergleichsweise selten, werden jedoch zunehmend als komplementär diskutiert (Delzenne et al. 2026; Mironenko & Sorokin 2026). Während die Systemtheorie vor allem strukturelle Differenzen, Kommunikationslogiken und Kopplungsmechanismen funktional differenzierter Systeme in den Blick nimmt, betrachtet die Theorie institutioneller Logiken kulturelle Sinnordnungen, Identitäten und praxisbezogene Orientierungen. Erste neuere Arbeiten zeigen, dass sich beide Zugänge zur Analyse komplexer Kooperations- und Organisationsformen produktiv kombinieren lassen, ohne ihre jeweilige theoretische Eigenlogik aufzugeben, insbesondere zur Erklärung hybrider Organisations- und Entscheidungsstrukturen (Mars 2026; Delzenne et al. 2026).

Bezogen auf Forschungs-Praxis-Beziehungen existiert bislang überwiegend Literatur, die entweder systemtheoretisch oder institutionalistisch argumentiert. Systemtheoretische Arbeiten fokussieren dabei vor allem Vermittlungsrollen, Grenzstellen und strukturelle Kopplungsmechanismen zwischen Forschung und betrieblicher Praxis,

während Studien auf Basis der Theorie institutioneller Logiken insbesondere Research-Practice-Partnerships, hybride Wissensproduktionsformen sowie Spannungen zwischen wissenschaftlichen und praxisbezogenen Zielsystemen analysieren (Mars 2026; Unruh et al. 2025). Eine explizite Verbindung beider Perspektiven zur Analyse transdisziplinärer arbeitswissenschaftlicher Forschungsverbünde ist bislang jedoch kaum ausgearbeitet.

Vor diesem Hintergrund untersucht der vorliegende Beitrag, wie wissenschaftliche und betriebliche Handlungslogiken in transdisziplinären Forschungsprojekten aufeinandertreffen und in welcher Weise sie durch kommunikative Praktiken, Rollenverständnisse, Erwartungsstrukturen und organisationale Voraussetzungen vermittelt werden. Ziel ist es, auf Basis qualitativer Interviews mit drei im Rahmen des BMFTR-Fachprogramms „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zur Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ geförderten Regionalen Kompetenzzentren der Arbeitsforschung (ReKodA) zu rekonstruieren, wie divergierende Erwartungsstrukturen, Zeitregime und epistemische Kulturen ausgehandelt werden und welche Bedingungen Kooperation und Wissensintegration begünstigen.

3. Methodik

Die Analyse basiert auf leitfadengestützten Expert*inneninterviews, die im Zeitraum vom 22. August bis 2. September 2025 online durchgeführt wurden. Befragt wurden insgesamt vier Mitarbeitende aus drei ReKodA, darunter jeweils zwei Personen auf Führungs- und zwei auf operativer Ebene. Die Interviews hatten eine Dauer von etwa 40 bis 60 Minuten. Zur Datenerhebung wurde ein semistrukturierter Leitfaden eingesetzt, der zentrale Themenbereiche wie Rollenverständnisse, Prozesse der Konsensbildung, Kommunikationswege sowie Mechanismen des Transfers systematisch erfasste. Die Strukturierung und Kategorisierung dieser Themen erfolgten auf Grundlage des Transfer Engineering Modells nach Ingo Leisten (2012).

In den Interviews wurden die Kategorien „Personen“ und „Wege“, als für die Fragestellung besonders relevant identifiziert. Die Kategorie „Personen“ umfasst Rollen, Zuständigkeiten, Erwartungsstrukturen und Selbst- wie Fremdbilder; „Wege“ adressiert Kommunikationspraktiken, Zeitstrukturen und Formen der Entscheidungsfindung. Ziel ist es, systematische Muster der Aushandlung zwischen wissenschaftlichen und betrieblichen Handlungslogiken zu identifizieren und die Dynamik der Kooperation in den drei Fällen vergleichend zu analysieren.

4. Ergebnisse

Die Auswertung der Interviews zeigt Differenzen in Rollenverständnissen, Erwartungshaltungen und epistemischen Orientierungen in allen drei ReKodA. Diese Unterschiede traten insbesondere in frühen Projektphasen deutlich hervor und wurden von den Interviewten als Teil eines fortlaufenden Abstimmungsprozesses beschrieben.

ReKodA 1 gibt beispielsweise an, dass zu Projektbeginn nicht eindeutig geklärt war, welche Akteure inhaltliche Entscheidungen vorbereiten und welche primär koordinierenden Aufgaben übernehmen. Dies führte dazu, dass Abstimmungen zunächst informell verliefen und Zuständigkeiten im Projektverlauf schrittweise präzisiert wurden. Aus ReKodA 3 wurde ein ähnlicher Konsensbedarf geschildert, der sich insbesondere

auf die Frage bezog, welche Ergebnisse innerhalb welcher Zeiträume realistisch erwartet werden konnten. Dort wurde deutlich, dass wissenschaftliche Akteure wiederholt erläutern mussten, welche methodischen Schritte erforderlich sind und warum bestimmte Entwicklungsphasen nicht verkürzt werden konnten. Umgekehrt wurde aus ReKodA 2 hervorgehoben, dass Praxispartner frühzeitig betriebliche Rahmenbedingungen benannten, etwa zeitliche Verfügbarkeiten oder Anforderungen an die Umsetzbarkeit von Ergebnissen, die den Handlungsspielraum der Projekte begrenzten.

Über alle drei Fälle hinweg wird die Bedeutung vermittelnder und koordinierender Rollen deutlich. In ReKodA 2 übernahmen hierfür eigens designierte Personen die Funktion, Anforderungen aus der Praxis aufzunehmen, sie für die Forschungspartner zu strukturieren und Zwischenergebnisse so aufzubereiten, dass sie für betriebliche Entscheidungsprozesse anschlussfähig waren. ReKodA 1 beschrieb diese Rollen vor allem dann als relevant, wenn unterschiedliche Erwartungen an Prioritäten oder Bearbeitungstiefen sichtbar wurden. Die Interviewten schilderten, dass in Phasen mit klar zugeordneten Vermittlungsfunktionen Abstimmungen zielgerichteter verliefen, während in Phasen weniger klarer Zuständigkeiten zusätzliche Iterationen und Verzögerungen entstanden. Auch in ReKodA 3 wurde diese Beobachtung bestätigt, wobei dort gesondert die moderierende Funktion bei der Abstimmung zwischen mehreren Praxispartnern betont wurde.

Ein weiteres zentrales Ergebnis betrifft die unterschiedlichen zeitlichen Logiken, die in den Projekten aufeinandertrafen. In allen drei ReKodA wurde beschrieben, dass Forschungsprozesse von iterativen Schleifen, konzeptioneller Offenheit und methodischer Absicherung geprägt sind, während betriebliche Abläufe stärker an Entscheidungsfenstern, Umsetzungsfristen und internen Planungszyklen orientiert waren. In ReKodA 1 führte dies dazu, dass Zwischenergebnisse gezielt als Diskussionsgrundlagen genutzt wurden, um trotz noch laufender Forschungsarbeit handlungsfähig zu bleiben. In ReKodA 2 wurden regelmäßige Abstimmungsformate etabliert, um zeitliche Erwartungen beider Seiten besser zu synchronisieren. Gleichzeitig bleibt aus den Interviews erkennbar, dass die Frage, ab welchem Punkt ein Ergebnis als ausreichend entwickelt gilt, wiederholt neu verhandelt werden musste. Auch ReKodA 3 beschreibt diesen Aushandlungsprozess als kontinuierlich und situationsabhängig.

5. Diskussion

Im Folgenden werden die Interviewergebnisse in den theoretischen Rahmen der Systemtheorie und der Theorie institutioneller Logiken eingeordnet. Der systemtheoretischen Perspektive folgend, lassen sich in der Kooperation zwischen Forschung und Praxis Bedingungen funktionaler Differenzierung erkennen: Beide Bereiche folgen eigenen Selektionslogiken, Kommunikationsformen und Zeitstrukturen (Luhmann 1984). Die in den Interviews beschriebenen Rollenunklarheiten, unterschiedlichen Erwartungshorizonte und Unsicherheiten über Entscheidungswege lassen sich entsprechend als Ausdruck dieser strukturellen Unterschiede verstehen und nicht lediglich als individuelle Koordinationsprobleme. Bereits Arnoldi (2001) und Baecker (2001) betonen, dass unterschiedliche Funktionslogiken nur begrenzt kompatibel sind und daher besondere Formen der Kopplung benötigen. Die hervorgehobene Bedeutung intermediärer Rollen bestätigt diese systemtheoretischen Überlegungen. Solche Akteure übernehmen Beobachtungs-, Übersetzungs- und Moderationsleistungen, die Kommunikation zwischen unterschiedlichen Erwartungsstrukturen ermöglichen (Luhmann

2000). Die Interviews legen ferner dar, dass diese Rollen dazu beitragen, Unsicherheiten zu reduzieren, Entscheidungsprozesse zu strukturieren und unterschiedliche Logiken situativ zu verbinden. Kooperation wird damit weniger zu einer Frage individueller Beziehungen, sondern zu einer organisational gestaltbaren Aufgabe.

Die Theorie institutioneller Logiken bietet ergänzend einen Zugang zu den kulturell-materiellen Ordnungssystemen, die die Zusammenarbeit prägen. Die empirischen Hinweise auf unterschiedliche Vorstellungen darüber, was als relevantes Ergebnis oder angemessene Vorgehensweise gilt, entsprechen der Annahme, dass wissenschaftliche und betriebliche Logiken unterschiedliche Sinnordnungen bereitstellen (Thornton & Ocasio 2008; Thornton et al. 2012). Gleichzeitig zeigen die Interviews, dass diese Logiken nicht strikt voneinander getrennt bleiben: Praxispartner entwickeln teilweise iterativere Prozesse, während wissenschaftliche Akteure ihre Arbeitsweisen an betriebliche Erfordernisse anpassen. Damit werden Mikroprozesse sichtbar, die in neueren Weiterentwicklungen der institutionellen Logiken als dynamische Logiken beschrieben werden, die situativ transformiert werden können (Wu et al. 2023).

Die beobachteten Übersetzungs- und Abstimmungsleistungen entsprechen den von Reay und Hinings (2009) beschriebenen Praktiken, durch die rivalisierende Logiken nicht aufgelöst, sondern miteinander vermittelt werden. Die in einigen Projekten entstehenden hybriden Vorgehensweisen wie etwa gemeinsame Entscheidungsgrundlagen oder iterative Arbeitsprozesse, lassen sich als Ausdruck solcher Vermittlungen interpretieren. Besharov und Smith (2014) erklären entsprechende Konstellationen als Formen institutioneller Komplexität, die je nach Spannungsgrad unterschiedlich bearbeitet werden können. Die Interviews legen nahe, dass solche Spannungen moderat bleiben und durch kommunikative und organisatorische Ressourcen bearbeitet werden können. Eine theoretisch relevante Erweiterung ergibt sich aus der Bedeutung zeitlicher Koordination. Während Zeit in beiden theoretischen Perspektiven eher implizit bleibt, zeigen die Interviews, dass unterschiedliche Zeitregime systematisch abgestimmt werden müssen. Regelmäßige Kommunikationsformate fungieren hier als Mechanismen, die zeitliche Anschlussfähigkeit schaffen und Entscheidungen strukturieren. Insgesamt zeigt die Diskussion, dass transdisziplinäre Forschungsverbünde wie die ReKodA durch divergierende Handlungslogiken geprägt sind, diese Differenzen jedoch über kommunikative und organisationale Vermittlungsmechanismen produktiv bearbeitet werden können. Systemtheoretische und institutionalistische Perspektive ergänzen sich dabei: Erstere erklärt die strukturellen Voraussetzungen, letztere die kulturellen und praktischen Dynamiken der Zusammenarbeit. Die Gestaltung von intermediären Rollen, klaren Kommunikationsarchitekturen und zeitlicher Koordination erweist sich als zentrale Bedingung gelingender Kooperation.

6. Fazit und Ausblick

Der Beitrag zeigt, dass ReKodA als transdisziplinäre Begegnungsräume fungieren, in denen wissenschaftliche und betriebliche Handlungslogiken strukturiert aufeinandertreffen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Vermittlung wissenschaftlicher und betrieblicher Handlungslogiken maßgeblich durch organisationale Rahmenbedingungen erfolgt. Insbesondere intermediäre Rollen, wiederkehrende Kommunikations-formate und situativ angepasste Formen der Ergebnisdarstellung tragen dazu bei, Anschlussfähigkeit zwischen unterschiedlichen Zielsystemen und Arbeitsweisen herzustellen. Kooperation wird damit nicht als linearer Wissenstransfer, sondern als fortlau-

fender Prozess der Koordination und Übersetzung sichtbar, in dem sich sowohl wissenschaftliche als auch betriebliche Praktiken partiell verändern. Zugleich zeigt sich, dass Kooperation in den ReKodA nicht nur Wissen transferiert, sondern organisationale Lernprozesse und hybride Arbeitsformen hervorbringt, in denen Elemente unterschiedlicher Logiken miteinander verknüpft werden. Für die Weiterentwicklung arbeitswissenschaftlicher Kooperations- und Transferprozesse erscheint es daher notwendig, Kommunikationsarchitekturen, Rollenprofile und Entscheidungsstrukturen systematisch zu gestalten und institutionell zu verankern. Künftige Forschung sollte untersuchen, wie diese Strukturen langfristig stabilisiert werden können, um die Potenziale transdisziplinärer Zusammenarbeit nachhaltig zu sichern.

7. Literatur

Arnoldi J (2001) Niklas Luhmann: An Introduction. In: Featherstone F (Hrsg) *Theory, Culture & Society*. 18(1), London: SAGE Publications, 1-13.

Baecker D (2001) Why Systems. In: Featherstone F (Hrsg) *Theory, Culture & Society*. 18(1), London: SAGE Publications, 59-74.

Besharov ML, Smith WK (2014) Multiple Institutional Logics In Organizations: Explaining Their Varied Nature and Implications. In: Byron K (Hrsg) *Academy of Management Review*, 39(3), Valhalla/New York: Academy of Management, 364-381.

Borowski E, Cernavin O, Hees F, Joerißen T (2023) Vorwort. In: Borowski E, Cernavin O, Hees F, Joerißen T (Hrsg) *Erfolgreicher Transfer in der Arbeitsgestaltung. Wie Dienstleistungen zur präventiven Arbeitsgestaltung und Ergebnisse der Arbeitsforschung die Akteure in den Unternehmen wirkungsvoll erreichen*. Münster/New York: Waxmann, 7-10.

Cernavin O, Joerißen J (2023) Transfer als soziales System. In: Borowski E, Cernavin O, Hees F, Joerißen T (Hrsg) *Erfolgreicher Transfer in der Arbeitsgestaltung. Wie Dienstleistungen zur präventiven Arbeitsgestaltung und Ergebnisse der Arbeitsforschung die Akteure in den Unternehmen wirkungsvoll erreichen*. Münster/New York: Waxmann, 103-136.

Delzenne E, Slabbinck H, Vanderstraeten J, Branca E, Ismail R (2026) Nurturing Entrepreneurial Intention of PhD students Across Academic Disciplines: A multigroup Analysis. In: *International Journal of Management Education*, 24(2), Amsterdam: Elsevier.

Hohlbaum K, Deutz C, Koonen A, Collienne N (2023) Transfer als Medium und Methode. In: Borowski E, Cernavin O, Hees F, Joerißen T (Hrsg) *Erfolgreicher Transfer in der Arbeitsgestaltung. Wie Dienstleistungen zur präventiven Arbeitsgestaltung und Ergebnisse der Arbeitsforschung die Akteure in den Unternehmen wirkungsvoll erreichen*. Münster/New York: Waxmann, 19-32.

Leisten I (2012) *Transfer Engineering in transdisziplinären Forschungsprojekten. Norderstedt: Books on Demand GmbH.*

Luhmann N (1984) *Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.

Luhmann N (2000) *Organisation und Entscheidung*. Opladen: Westdeutscher Verlag.

Mars MM (2026) The peripheralization of prosocial messaging in higher education organizations. In: *Journal of Cultural Geography* 43(1), 1-18.

Mironenko IA, Sorokin P (2026) Actual Challenges and Future Horizons of Cultural Psychology. In: *Integrative Psychological and Behavioral Science*, 60(1), 1-21.

Reay T, Hinings CR (2009) Managing the Rivalry of Competing Institutional Logics. In: Meyer R & Quattrone P (Hrsg) *Organization Studies*, 30(6), London: SAGE Publications, 629-652.

Thornton PH, Ocasio W (2008) Institutional logics. In: Greenwood R, Oliver C, Suddaby R & Sahlin K (Hrsg) *The Sage Handbook of Organizational Institutionalism*. London: Sage Publications, 99-129.

Thornton PH, Ocasio W, Lounsbury M (2012) *The Institutional Logics Perspective: A New Approach to Culture, Structure, and Process*. Oxford: Oxford University Press.

Wu X, Tan X, Wang X (2023) The institutional logics perspective in management and organized studies. In: *Journal of Business Research*, 167, Amsterdam: Elsevier: 345–372.

Förderhinweis: Das Forschungsprojekt Wissens- und Innovations-Netzwerk: Arbeitsforschung (WIN:A) (FKZ: 02L19C020 ff.) wird durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor*innen.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Gamification als Türöffner: Neue Wege der Kompetenzentwicklung für den produzierenden Mittelstand

Oliver KEIM, Tristan SCHADY, Viola HELLGE, Frank EIERDANZ, Carolin FRITZINGER

Institut für Technologie und Arbeit e.V.
Eisenbahnstraße 40-42, D-67655 Kaiserslautern

Kurzfassung: Die digitale Transformation verändert Arbeitsprozesse, Kompetenzanforderungen und Lernbedarfe von Beschäftigten. Besonders in kleinen und mittelständischen Unternehmen besteht häufig Unsicherheit im Umgang mit neuen Technologien und KI-basierten Anwendungen. Vor diesem Hintergrund entwickelte das Zukunftszentrum für menschzentrierte KI in der Produktionsarbeit in Hessen (ZUKIPRO) einen mobilen Escape Room, der Beschäftigten den niedrigschwelligen Zugang zu Konzepten von New Work, Digitalisierung und KI ermöglicht. Das spielerische Format kombiniert eine einstündige Spielphase in einem fiktiven Katastrophenszenario mit einer anschließenden strukturierten Reflexionsphase. Ziel ist es, Neugier zu wecken, Technologieängste abzubauen und Lernprozesse kollaborativ zu fördern. Der Beitrag stellt das Konzept, die didaktische Gestaltung sowie erste Evaluationsergebnisse vor und diskutiert das Potenzial des Escape Rooms für Kompetenzaufbau und organisationales Lernen.

Schlüsselwörter: Gamification, Erlebnisbasiertes Lernen, sozitechnische Transformation, New Work, KI, Escape Room

1. Einleitung

Digitalisierung und KI prägen zunehmend und nachhaltig die Arbeitswelt vieler Branchen. Produktionsprozesse werden automatisiert, Entscheidungen datenbasiert getroffen, neue Assistenzsysteme entstehen und Arbeitsrollen verändern sich (Stowasser 2025). Für Mitarbeitende bedeutet dies die Notwendigkeit, neue Kompetenzen aufzubauen, digitale Technologien zu verstehen und die eigene Arbeitsweise und Arbeitsprozesse anzupassen (André et al. 2021). Insbesondere KI-Technologien können die Unternehmenskultur beeinflussen und einen Kulturwandel antreiben, der Kommunikationsformen und Zusammenarbeit verändert und Mitarbeitende selbstorganisierter Arbeiten lässt, indem Entscheidungen beschleunigt, Hierarchien flacher werden und mehr Agilität ermöglicht wird (Bhuvan 2024; Neuburger et al. 2025).

Das Zukunftszentrum für menschzentrierte KI in der Produktionsarbeit (ZUKIPRO) in Hessen wird im Rahmen des Programms „Zukunftszentren“ durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales sowie durch die Europäische Union über den Europäischen Sozialfonds Plus (ESF Plus) gefördert. ZUKIPRO verfolgt einen beteiligungsorientierten Ansatz, der Mitarbeitende nicht nur über neue Technologien informiert, sondern sie aktiv zur Auseinandersetzung befähigt. Als innovatives Lernformat wurde ein mobiler Escape Room entwickelt, der zentrale Themen moderner Arbeitswelten wie New Work, Digitalisierung und KI spielerisch erfahrbar macht. Durch Gamification-Elemente werden Motivation und Beteiligung gesteigert und ein leichter Einstieg in komplexe Themen ermöglicht (Jeske 2022).

2. Spielerisches Lernen im Escape Room

Gamification-Ansätze ermöglichen es, Lerninhalte mit spielerischen Elementen zu verbinden, um Motivation und Engagement zu fördern (Korn et al. 2022; Veldkamp et al. 2020). Das Format des Escape Rooms hat sich dabei als besonders wirkungsvoll erwiesen: Teams müssen gemeinsam Rätsel lösen, Informationen strukturieren und Aufgaben bewältigen, wodurch exploratives und handlungsorientiertes Lernen unterstützt wird (Veldkamp et al. 2020). Darüber hinaus stärken solche Szenarien Teamzusammenhalt, Selbstwirksamkeit und die Bereitschaft, sich auch mit abstrakten oder angstbesetzten Themen auseinanderzusetzen (Hu et al. 2025).

Im Kontext von New Work und KI bietet ein Escape Room die Möglichkeit, komplexe technologische Inhalte erlebnisbasiert zu vermitteln, ohne dass Vorwissen erforderlich ist. Durch das Eintauchen in eine narrative Situation entstehen emotionale Aktivierung, Flow-Erleben und intrinsische Motivation zentrale Faktoren für nachhaltigen Lernerfolg (Jeske 2022). Zudem lassen sich Ängste und Hemmungen im Umgang mit digitalen Technologien und KI in einem spielerischen Setting abbauen und die Erfahrungen in einer Reflexionsphase auf die eigene Arbeitssituation und den Einsatz in der eigenen Organisation übertragen.

3. Der ZUKIPRO Escape Room

3.1 Zielsetzung und Ansatz

Der mobile Escape Room wurde entwickelt, um Mitarbeitende niedrigschwellig an digitale Transformationsprozesse heranzuführen. Er adressiert insbesondere Mitarbeitende aus Produktions- und Handwerksbetrieben, die in ihrem Arbeitsalltag bislang wenig Berührungspunkte mit KI oder modernen Arbeitskonzepten hatten. Ziel ist es, Interesse zu wecken, Wissenslücken zu schließen und Hemmschwellen abzubauen. Der Ablauf des Lernformats folgt einer dreistufigen Struktur: Nach einer inhaltlichen Einführung und dem Spielszenario-Briefing absolvieren die Teams die 60-minütige Spielphase, deren Erlebnisse anschließend in einer moderierten Reflexionsphase systematisch aufgearbeitet werden Der Escape Room ist vollständig mobil aufgebaut und kann in Produktionshallen, Besprechungsräumen oder auf Veranstaltungen eingesetzt werden. Seine narrative Gestaltung ermöglicht ein immersives, praxisnahes Lernerleben.

Abbildung 1: *Ablaufstruktur des ZUKIPRO Escape Rooms.*

3.2 Narrative Gestaltung des Spielszenarios

Im Spielszenario des mobilen Escape Rooms entsteht während einer fiktiven Forschungsmission ein Schwarzes Loch in einem Teilchenbeschleuniger, dessen unkontrollierte Ausbreitung eine akute Gefahr darstellt. Das Team der Teilnehmenden hat

insgesamt 60 Minuten Zeit, um das „drohende Unheil“ abzuwenden. Im Verlauf des Spiels müssen die Gruppenmitglieder verschiedene Aufgaben bewältigen, die jeweils einen Bezug zu zentralen Herausforderungen digitalisierter Arbeitswelten herstellen. So bearbeiten die Teilnehmenden kollaborative Problemlösungsaufgaben, identifizieren und nutzen digitale Assistenzsysteme wie Chatbots, setzen sich mit Formen des mobilen Arbeitens auseinander oder strukturieren komplexe Informationsmengen unter Zeitdruck. Insgesamt stellt der Escape Room die Teilnehmenden vor sieben Rätsel, die es zu lösen gilt. Darüber hinaus werden sie mit Entscheidungssituationen unter Unsicherheit konfrontiert, die den realen Anforderungen sich wandelnder Arbeitsumgebungen entsprechen. Das Format ist für Gruppen von vier bis zehn Personen konzipiert und wurde im Rahmen mehrerer Testrunden mit den Expert*innen des zukunftszentrums ZUKIPRO im Hinblick auf Schwierigkeitsgrad, Verständlichkeit und die Förderung positiver Gruppendynamiken gezielt weiterentwickelt.

4. Reflexionsphase

Die eigentliche Wirkung des Escape Rooms entfaltet sich in der an die Spielphase anschließenden Reflexionsphase. Während die Spielphase vor allem auf Immersion, Motivation und das gemeinsame Problemlösen ausgerichtet ist, dient die Reflexion dazu, die erlebten Situationen systematisch auf reale Arbeitskontexte zu übertragen. Studien zeigen, dass der Lerneffekt von Serious Games maßgeblich von der didaktischen Einbettung und einer nachgelagerten Reflexion abhängt (Spangenberger et al. 2022; Veldkamp et al. 2020). Das reine Spielen führt oft nicht zum Transfer von Wissen; erst das „Debriefing“ verknüpft das Erlebte mit dem Lehrstoff (Veldkamp et al. 2020).

In dieser moderierten Phase werden in ca. 45 Minuten die Handlungen der Teilnehmenden, ihre Entscheidungen, die Zusammenarbeit im Team und die Lösungssuche im Hinblick auf Herausforderungen der digitalen Transformation analysiert und nutzbar gemacht. Zu Beginn der Reflexion wird der Übergang vom Spielszenario in den beruflichen Alltag bewusst gestaltet. Die Gruppe rekonstruiert die zentralen Momente des Escape Rooms, beschreibt Hindernisse sowie Lösungswege und diskutiert, welche Fähigkeiten notwendig waren, um die Aufgaben erfolgreich zu bewältigen. Durch gezielte Fragen werden die Teilnehmenden angeregt, Parallelen zu aktuellen Veränderungen bzw. Prozessen in ihrem Unternehmen zu ziehen. Dazu gehören insbesondere neue Anforderungen durch digitale Assistenz- und Kollaborationssysteme, veränderte Kommunikations- und Entscheidungswege sowie die Rolle von Problemlösungskompetenz und Kollaboration im Arbeitsalltag.

Ein zentrales Element der Reflexion ist die Auseinandersetzung mit Konzepten von New Work. Begriffe wie Selbstorganisation, Verantwortungsübernahme, Transparenz, Lernkultur, flache Hierarchien und interdisziplinäre Zusammenarbeit (Hellge 2024) werden gemeinsam in Beziehung zu den Erlebnissen im Escape Room gesetzt. Die Teilnehmenden diskutieren beispielsweise, wie sie im Spiel Aufgaben verteilt haben, wie Entscheidungen entstanden sind oder welche Strategien zu besonders effektiven Ergebnissen führten. Diese Reflexion macht deutlich, dass viele Aspekte moderner Arbeitskonzepte nicht abstrakt vermittelt werden müssen, sondern durch das Spiel bereits intuitiv erfahren wurden.

Darüber hinaus erfolgt eine Einführung in Grundbegriffe und Funktionsweisen von KI, die häufig im betrieblichen Kontext als diffus, komplex oder bedrohlich wahrgenom-

men werden (Ottersböck 2023**).** Das Erlebte dient als niedrigschwelliger Einstiegspunkt, um Chancen und Risiken von KI greifbar zu machen. Die Moderation unterstützt die Gruppe dabei zu erarbeiten, in welchen Bereichen KI im eigenen Unternehmen bereits eingesetzt wird oder zukünftig eine Rolle spielen könnte. Dieser Austausch ermöglicht es, bestehende Unsicherheiten zu adressieren und Potenziale sichtbar zu machen. Spielbasiertes Lernen eignet sich besonders für Themen der Organisations- und Personalentwicklung, da es kein klares „Richtig" oder „Falsch" gibt und es ermöglicht, neue Denkmuster in einer risikolosen Umgebung auszuprobieren (Niedermeier & Müller-Kreiner 2017). Insgesamt trägt die Reflexionsphase wesentlich dazu bei, das im Escape Room ausgelöste Interesse zu vertiefen und ein gemeinsames Verständnis über die Bedeutung digitaler Technologien und moderner Arbeitsformen zu entwickeln. Um den Transfer in den Arbeitsalltag nachhaltig zu unterstützen, erhalten die Teilnehmenden im Anschluss eine Begleitbroschüre, die die spielerisch erlebten Elemente wie etwa IT-Sicherheit, mobile Endgeräte oder den Einsatz von KI. Sie schafft somit die Grundlage für weiterführende Lernprozesse und für konkrete Veränderungsimpulse innerhalb der Organisation.

5. Evaluation

Die Wirkung des Escape Rooms sowie der anschließenden Reflexionsphase wird systematisch über ein standardisiertes Evaluationsinstrument erfasst. Alle Teilnehmenden haben die Möglichkeit, direkt im Anschluss an die Veranstaltung einen kurzen Online-Fragebogen mit insgesamt 7 Fragen auszufüllen, der sowohl quantitative als auch qualitative Einschätzungen abfragt. Zur Erhebung der Daten wurde ein standardisierter Fragebogen eingesetzt, der sowohl geschlossene als auch offene Fragetypen umfasste. Soziodemografische Merkmale (Geschlecht, Alter, Selbstständigkeit, schulischer und beruflicher Bildungsabschluss) wurden mittels geschlossener Single-Choice-Fragen erhoben. Dabei kamen nominale (z. B. Geschlecht, Selbstständigkeit) sowie ordinale Skalen (z. B. Altersgruppen, Bildungsabschlüsse) zum Einsatz. Die Wahrnehmung und Bewertung des Angebots wurde über eine 10-stufige Ratingskala erfasst, die die Weiterempfehlungswahrscheinlichkeit des Escape Rooms abbildet und als intervallnah interpretiert werden kann. Ergänzend wurde eine offene Frage integriert, um qualitative Angaben zur Art der Erstaufmerksamkeit auf das Angebot zu erfassen. Ein Ziel der Evaluation ist es, Erkenntnisse darüber zu gewinnen, wie wahrscheinlich die Teilnehmenden das Format weiterempfehlen würden (siehe Abbildung 2).

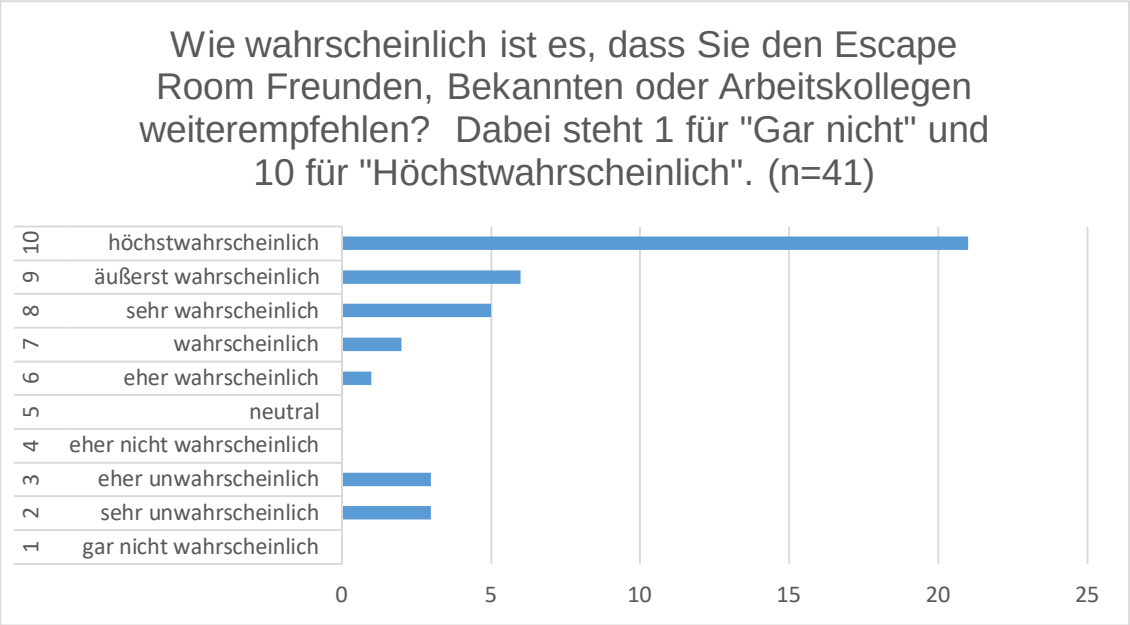


Abbildung 2: *Befragungsergebnis bzgl. der Weiterempfehlungswahrscheinlichkeit des Qualifizierungskonzepts Escape Room.*

6. Fazit

Der ZUKIPRO Escape Room zeigt, dass spielerische Lernformate ein niedrigschwelliges Instrument zur Vermittlung komplexer Inhalte rund um Digitalisierung, menschzentrierte KI und New Work darstellen. Durch situatives Problemlösen, kollaborative Aufgaben und narrative Immersion werden kognitive wie emotionale Lernprozesse gleichermaßen angeregt. Individuelle Rückmeldungen von Teilnehmenden verdeutlichen, dass die Teilnehmenden nicht nur ein besseres Verständnis zentraler Zukunftskompetenzen entwickeln, sondern diese auch unmittelbar auf ihre eigene Arbeitsrealität übertragen können. Gamifizierte Lernumgebungen, wie dieser Escape Room, besitzen damit das Potenzial, Wissenserwerb, Reflexion und organisationalen Wandel in kleinen und mittleren Unternehmen nachhaltig zu unterstützen.

7. Literatur

André, E., Bauer, W. et al. (Hrsg.) (2021). Kompetenzentwicklung für Künstliche Intelligenz – Veränderungen, Bedarfe und Handlungsoptionen. Whitepaper aus der Plattform Lernende Systeme, München. https://doi.org/10.48669/pls_2021-2.

Bhuvan, S. (2024). The impact of AI and ML on organizational structure. In: ShodhKosh: Journal of Visual and Performing Arts, 5(1).

Hellge, V. (2024). Das Fundament von Selbstorganisation. Werte, Haltung, Prinzipien. In: Kubek, V.; Osranek, R., Hoffmann, J., Hellge, V. (Hrsg.): Selbstorganisation in der Praxis, Springer Gabler, 2024, S. 1-8.

Hu, Q., Bai, Y., Mo, Y., Ma, R., Ding, L., Zhou, M., Zhang, Y., & Ma, F. (2025). The application of an escape room teaching method on the training for ICU new nurses: A quasi-experimental study. BMC Medical Education, 25(345). https://doi.org/10.1186/s12909-025-06906-4.

Jeske, I. C. (2022). Spielend-Lernen mit Serious Games – eine Betrachtung aus medienkonzeptioneller Perspektive. In W. Becker & M. Metz (Hrsg.), Digitale Lernwelten – Serious Games und Gamification: Didaktik, Anwendungen und Erfahrungen in der Beruflichen Bildung, S. 11–26. Springer Fachmedien

Korn, O., Schulz, A. S., & Hagley, B. J. (2022). Gamification: Grundlagen, Methoden und Anwendungsbeispiele. In W. Becker & M. Metz (Hrsg.), Digitale Lernwelten – Serious Games und Gamification, S. 43–63. Springer Fachmedien Wiesbaden.

Neuburger, R., Stich, A., Stowasser, S. (2025). KI in Unternehmen: Perspektiven auf den Kulturwandel. Plattform Lernende Systeme. https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/Impulspapier_KI_in_Unternehmen_Plattform_Lernende_Systeme_2025.pdf. Online unter: https://www.plattform-lernende-systeme.de/files/Downloads/Publikationen/Impulspapier_KI_in_Unternehmen_Plattform_Lernende_Systeme_2025.pdf (Zugriff am: 08.12.2025)

Niedermeier, S., & Müller-Kreiner, C. (2017). Organisationsentwicklung, Digitalisierung und Lehr-Lernkultur: Ermöglichung von Bildungsprozessen durch spielbasiertes Lernen [Forschungsbericht]. peDOCS.

Ottersböck N, Urban I, Cost Reyes C (2023). Beschäftigte für KI-basierte Technik begeistern. Forschungsbericht aus dem Projekt KI_eeper – know how to keep. In: ifaa - Institut für angewandte Arbeitswissenschaft (Hrsg.) Werkwandel – Zeitschrift für angewandte Arbeitswissenschaft 3/23, S.44-47.

Stowasser, S. (2025). Modelle zur strukturellen Einbindung von Künstlicher Intelligenz. In: Industry science 4.0, 5/2025, S. 145-151. DOI: 10.30844/I4SD.25.5.144. Online unter: https://industry-science.com/artikel/modelle-strukturelle-einbindung-ki/ (Zugriff am: 04.12.2025)

Spangenberger, P., Draeger, I., Kapp, F., Kruse, L., & Matthes, N. (2022). Gendersensible Berufsorientierung mit einem Serious Game: Didaktische Einbettung des Spiels „Serena Supergreen“. In W. Becker & M. Metz (Hrsg.), Digitale Lernwelten – Serious Games und Gamification, S. 127–146. Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-35059-8_9.

Veldkamp, A., van de Grint, L., Knippels, M. C. P. J., & van Joolingen, W. R. (2020). Escape education: A systematic review on escape rooms in education. Educational Research Review, 31, 100364. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100364.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt dem gesamten ZUKIPRO-Team und ebenso Sandra Jung und Hanna-Lea Hackländer für ihren Part bei der Konzipierung des Escape Rooms.

Enhancing human-centered job design in nursing documentation with Federated Learning – A sociotechnical systems perspective

Valentin LANGHOLF[1], Luca BECKER[2], Rene GLITZA[2], Rainer MARTIN[2], Uta WILKENS[1]

[1] Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, D-44801 Bochum
[2] Institut für Kommunikationsakustik, Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, D-44801 Bochum

Abstract: AI-assisted documentation could contribute to better care and role development in nursing. Federated learning (FL) has the potential to foster AI's analytical power without compromising privacy, aligning with data protection and societal demands for trustworthy AI. Little is known about its practical workplace integration and possible ethical trade-offs with other criteria of human-centered job design. This paper is rooted in sociotechnical system thinking of joint optimization of work systems and presents a conceptual outline specifying the effects of FL's technical aspects in terms of data heterogeneity, local computation, and model aggregation on transparency, employee participation, and organizational learning. A human-centered FL implementation requires both technical expertise and participatory, ethically aware design.

Schlüsselwörter: Federated Learning, human-centered AI, human-centered job design

1. Introduction

The increasing deployment of artificial intelligence (AI) in nursing is reshaping clinical work, decision-making, and care delivery. While AI promises efficiency and improved outcomes, its impact ultimately depends on how it is integrated into nurses' jobs and everyday practices. Human-centered job design is therefore essential to ensure that AI systems support nurses' expertise, preserve professional autonomy, and enhance rather than undermine patient care (Tursunbayeva & Renkema, 2023). Major challenges include meeting the high requirements for patient data privacy and achieving a work structure that promotes nursing staff competence (Hasan & El Ashry, 2024). Federated learning (FL) offers a promising way to apply and improve AI models in diverse workplace settings without compromising privacy or violating data protection principles (McMahan et al., 2017). By enabling collaborative training of AI models across decentralized data sources without transferring raw data, FL provides a means to combine insights from distributed datasets while preserving local data sovereignty (Ding et al., 2022). This approach not only supports compliance with data protection regulations but also aligns with broader societal demands for trustworthy, transparent, and human-centered AI systems (Shneiderman, 2020; Mikalef et al, 2022). However, little is known how these advantages translate into realistic workplace settings and which trade-offs regarding ethical criteria have to be considered since technical, organizational, and ethical aspects are closely interwoven. Issues of system interoperability, fairness, explainability, and user autonomy cannot be separated from

workplace realities (Wilkens, Lupp & Langholf, 2023; Herrmann & Pfeiffer, 2023). This paper attempts to systematize the integration of FL into work processes in a conceptual model based on a fictional case-study approach.

2. Conceptual framework

2.1 Human-centered job-design in nursing from a sociotechnical systems perspective

The integration of AI in nursing workflows presents technical and sociotechnical challenges. Current research shows that human-centered design principles are essential for integrating AI into nursing work in ways that support nurses' capabilities, well-being, and professional roles (Tursunbayeva & Renkema, 2023). Empirical studies show that nurses' trust, transparency, and involvement in AI deployment are central to successful adoption; transparent interfaces and participatory design help build confidence and foster appropriate reliance on AI outputs (Hassan & El Ashry, 2024). The decisive factor here is how the workflow of nursing staff is influenced by the use of technology. In empirical studies, for example, they report that unexpected interruptions or additional documentation tasks are perceived as a heavy burden, which makes technological support very welcome in this area (Rafferty et al., 2024). Studies show that nursing staff have a positive attitude toward AI support to ease their workload and provide assistance. Nevertheless, they also see considerable challenges, particularly in the area of privacy (Lora & Foran, 2024). Human-centered AI support in nursing must therefore find technical solutions to ensure privacy and, at the same time, socio-technical solutions to optimally support the workflow of nursing staff.

2.2 Federated learning – Improving data privacy

Federated Learning (FL) is a decentralized machine learning paradigm in which a shared model is trained by aggregating parameter updates from an arbitrary number of distributed contributors (clients). Conceptually, FL follows an iterative two-step procedure:

- A (pre-trained) global model is broadcast to all participating clients, which subsequently compute local parameter updates by training the model on their private data. This improved model is then again distributed to all clients.
- The clients transmit their parameter updates to a central coordinating instance, where they are aggregated to produce an updated global model.

Generally, FL offers two key advantages: first, it enables learning from substantially larger and more diverse datasets by leveraging data distributed across many clients; second, it enhances privacy by keeping raw data localized at the clients and exchanging only model updates (McMahan et al., 2017).

Nevertheless, FL also introduces fundamental challenges. Since data are generated by different users, devices, or organizations, they often differ significantly in distribution, quantity, and quality, which can lead to unstable training behavior and potentially degraded model performance compared to centralized learning (Sattler et al., 2021). At the same time, although raw data never leave the clients, FL is not inherently secure: model updates may still leak sensitive information and can be exploited by adversaries to infer properties of the local data or manipulate the training process (Hitaj et al., 2017, Zhu et al., 2019). Consequently, both data heterogeneity

and vulnerability to privacy attacks remain central concerns in practical federated learning deployments.

2.3 Aim of analysis

The aim of this article is to bring together the advantages of FL in terms of privacy with implications for human-centered work design in nursing. Since FL involves both clients and a AI service provide the interplay between the two becomes of critical importance. The following question will be answered: How can FL be implemented in nursing to protect patient data and support nursing staff in their professional identity and workflows?

3. Method

We use an illustrative case of human-centered AI integration to relieve nursing staff, which was studied as part of the HUMAINE research project. The aim of the pilot study was to reduce the nurses' workload by supporting the time-consuming task of patient-caregiver interviews through a voice-enabled documentation system integrated into the work process. A two-part solution was chosen for this case:

a) Development of a technical solution that converts spoken language into written documentation while respecting patient privacy. For this purpose, a two-stage signal processing pipeline is motivated: first, a speech recognition model, specialized to pathological speech, transforms spoken sentences into transcriptions; second, the transcriptions are categorized into pre-defined medical categories by a neural text classifier. For the second stage, a database was created and expanded (augmented) with the help of LLMs. A web app was developed for use in the work process that can be used by nurses.

b) Derivation of recommendations for using the web app in the work process, taking into account the job identity and workplace resources of nurses.

The pilot project resulted in the development of a robust solution for nursing documentation. The voice-enabled documentation system showed potential for reducing the documentation effort involved in routine and repetitive reporting tasks. Nursing staff reported that speaking was faster and less cognitively demanding than manual typing in many situations. However, the actual time savings depended heavily on how the saved time was used within the nursing workflow. The web app was generally found to be straightforward and intuitive to use. The technical solution was able to ensure the protection of patient data, but there were still risks associated with the central processing of transcripts and the storage of data. The case is suitable for the present study because a human-centered approach to improving the work processes of nurses was implemented under high requirements for the protection of patient information. Since the pilot project has already been completed, the requirements and challenges for a human-centered solution are clearly identifiable.

For our analysis, we analytically determine how an expansion of the human-centered solution based on FL would have an impact. We address technical questions of data heterogeneity, local computation constraints, and robust model aggregation in conjunction with aspects of job design. The results are integrated into an actionable model of human-centered FL use. For this purpose, we assume FL integration in the second stage of the technical solution. Assuming that the (pre-trained) system is deployed during a patient–caregiver interview, the caregiver can review the model's

categorizations and, if necessary, apply refinements to its decisions. When such refinements differ from the model's original outputs, they implicitly trigger a re-training step of the text classifier. The resulting parameter updates can then be transmitted to a central FL instance. This setup is displayed in Figure 1.

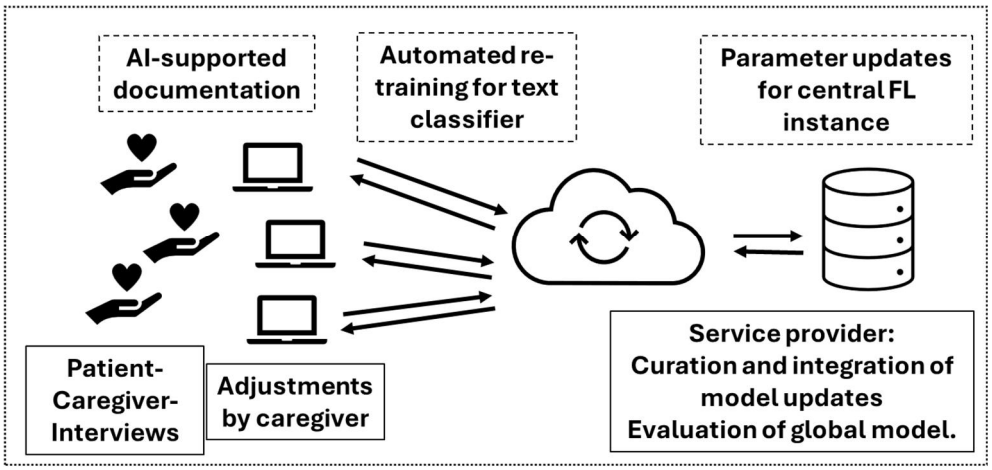


Figure 1: *Possible FL integration in nursing documentation.*

4. Results

4.1 Socio-technical analysis of FL integration

The proposed integration of federated learning introduces new technical challenges that extend beyond purely algorithmic considerations and must be addressed from a sociotechnical systems perspective. For the system provider, the continuously learning model requires sustained monitoring and governance. This includes defining both global and local quality criteria for model performance, robustness, and safety. In addition, update cycles and parameter aggregation processes must be coordinated with care providers to avoid disruptions in care workflows. The provider also needs structured mechanisms for collecting and analyzing feedback from care providers. Finally, ongoing involvement of data protection and privacy experts is essential to assess the security of the learning process and to ensure compliance with regulatory and ethical standards.

From the perspective of care organizations and nurses, the introduction of federated learning affects work organization and professional practice. Transparency is a central requirement: nurses must understand that parameter updates are transmitted to a central server, while at the same time being assured that raw patient data cannot be easily intercepted or reconstructed. Trust in this privacy-preserving mechanism is a precondition for acceptance. Furthermore, federated learning shifts part of the system's learning effort into everyday work. Nurses are implicitly asked to contribute to model improvement by correcting or rating system outputs during a learning phase. However, the benefits of these additional efforts become visible only with a time delay, once the system has improved through aggregated training. This raises the question of how much additional effort nurses are willing to invest without immediate rewards. Accordingly, motivational structures and organizational support are needed to sustain engagement in this formative phase. In addition, nurses and organizations should have access to explicit feedback channels to evaluate system performance, report errors,

and suggest improvements. Such channels support mutual learning between users and developers and contribute to a sense of co-design rather than top-down implementation.

4.2 Socio-technical optimization process for FL integration in the nursing workflow

The presented analysis of FL integration into the nursing workflow shows that FL can only contribute to further improvement of the human-centered solution if FL integration is designed as a continuous joint optimization (e.g. Sony & Naik, 2020) process that carefully balances interests between service providers and care units.

The described application scenario results in substantial data heterogeneity since the recordings of patient-caregiver interviews (and hence the automatic transcription and classification) will be affected by different interview styles, dialects, accents, and environmental conditions. However, the data heterogeneity observed in this FL setting is both an advantage and a challenge. On the one hand, the utilization of training data from many different clients may result in an AI model for data transcription and classification that will generalize well to other previously unseen clients and scenarios. On the other hand, integrating diverse data into a single model via model parameter updates may lead to a global model that will not perform well in some of the client settings. It is therefore the service provider's responsibility to establish appropriate evaluation criteria for monitoring the AI model's performance across all clients. As the service provider does not have immediate access to the clients' raw input data, it has to rely on feedback from nurses and there are no bullet-proof solutions. In order to minimize the nurses' effort for corrections it might be necessary to maintain not just a single global model but a family of models which are specialized to subgroups of clients. This will of course increase the effort and costs of the service provider which has to be balanced with the effort at the clients' end. Thus, while the use of FL has distinct advantages, a successful deployment of an FL-based AI-driven documentation system has to consider the workload and resulting costs of all stakeholders.

On the level of work organization and professional practice for care organizations and nurses, human-centered FL design must support nurses' professional identity and responsibility. The system should frame interaction with AI not as error correction for a machine, but as expert contribution to collective learning. This requires minimizing "invisible" additional work, such as undocumented correction effort, and making contributions to system improvement explicit and valued within organizational routines. Where additional effort is unavoidable, it should be acknowledged through time allowances, feedback on impact, or formal recognition. Furthermore, the introduction of FL-based systems creates new qualification needs. Nurses require not only technical training in system use, but also basic understanding of AI-supported decision processes and data protection mechanisms. Such competence development enables reflective and confident interaction with the system and strengthens autonomy rather than dependency.

5. Conclusion

This work represents an attempt to bridge the gap between the technical and ethical dimensions of AI use through a socio-technical approach that focuses explicitly on the workplace. It becomes clear that, despite its high technical potential, FL does not immediately lead to an improved human-centered solution. Integration initially requires

considerable effort on the part of the service provider (governance structures, coordination of update cycles, etc.) as well as on the part of nurses (extra effort due to additional training, trust building, workflow interruptions). However, a socio-technical integrative approach to these technical and work design challenges has the potential to contribute to a genuine improvement in patient care and working conditions.

6. References

Ayling, J. & Chapman, A. (2022). Putting AI ethics to work: are the tools fit for purpose? AI and Ethics, 2(3), 405–429. https://doi.org/10.1007/s43681-021-00084-x

Ding, J., Tramel, E., Sahu, A. K., Wu, S., Avestimehr, S., & Zhang, T. (2022). Federated learning challenges and opportunities: An outlook. In ICASSP 2022-2022 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP), 8752-8756.

Hassan, E. A., & El-Ashry, A. M. (2024). Leading with AI in critical care nursing: challenges, opportunities, and the human factor. BMC nursing, 23(1), 752.

Herrmann, T., & Pfeiffer, S. (2023). Keeping the organization in the loop: a socio-technical extension of human-centered artificial intelligence. AI & Society, 38(4), 1523-1542.

Hitaj, B., Ateniese, G., & Perez-Cruz, F. (2017, October). Deep models under the GAN: Information leakage from collaborative deep learning. In *Proceedings of the 2017 ACM SIGSAC conference on computer and communications security* (pp. 603-618).

Lora, L., & Foran, P. (2024). Nurses' perceptions of artificial intelligence (AI) integration into practice: An integrative review. Journal of Perioperative Nursing, 37(3), e-28.

McMahan, B., Moore, E., Ramage, D., Hampson, S., & y Arcas, B. A. (2017). Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data. Artificial intelligence and statistics, 1273-1282. PMLR. https://proceedings.mlr.press/v54/mcmahan17a.html

Mikalef, P., Conboy, K., Lundström, J. E., & Popovič, A. (2022). Thinking responsibly about responsible AI and 'the dark side'of AI. European Journal of Information Systems, 31(3), 257-268.

Rafferty, H., Cretaro, C., Arfanis, N., Moore, A., Pong, D., & Tulk Jesso, S. (2024). Towards human-centered AI and robotics to reduce hospital falls: finding opportunities to enhance patient-nurse interactions during toileting. Frontiers in Robotics and AI, 11, 1295679.

Sattler, F., Müller, K. R., & Samek, W. (2020). Clustered federated learning: Model-agnostic distributed multitask optimization under privacy constraints. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, *32*(8), 3710-3722.

Shneiderman, B. (2020). Human-centered artificial intelligence: Reliable, safe & trustworthy. International Journal of Human–Computer Interaction, 36(6), 495-504.

Sony, M., & Naik, S. (2020). Industry 4.0 integration with socio-technical systems theory: A systematic review and proposed theoretical model. *Technology in society*, *61*, 101248.

Tursunbayeva, A., & Renkema, M. (2023). Artificial intelligence in health-care: implications for the job design of healthcare professionals. Asia Pacific Journal of Human Resources, 61(4), 845-887.

Wilkens, U., Lupp, D. & Langholf, V. (2023). Configurations of human-centered AI at work: seven actor-structure engagements in organizations. Frontiers in Artificial Intelligence, 6, 1272159. https://doi.org/10.3389/frai.2023.1272159

Woisetschläger, H., Erben, A., Marino, B., Wang, S., Lane, N. D., Mayer, R., & Jacobsen, H. A. (2024). Federated learning priorities under the european union artificial intelligence act. arXiv preprint arXiv:2402.05968.

Zhu, L., Liu, Z., & Han, S. (2019). Deep leakage from gradients. *Advances in neural information processing systems*, *32*.

Acknowledgements: This research is funded by the German Federal Ministry of Research, Technology and Space (BMFTR) within the Competence Center HUMAINE: Transfer-Hub of the Ruhr Metropolis for human centered work with AI (human-centered AI network), Funding code: 02L19C200, and managed by the Project Management Agency Karlsruhe (PTKA). The authors are responsible for the content of this publication.

ErgoWork – Konzept einer menschzentrierten Lernfabrik zur praxisnahen Vermittlung ergonomischer und nachhaltiger Arbeitsgestaltung

Oliver BRUNNER[1], Michael SPITZHIRN[2], Philip SCHÄFER[1], Alexander MERTENS[1]

[1] Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen
Eilfschornsteinstraße 18, D-52062 Aachen
[2] imk Industrial Intelligence GmbH
Amselgrund 30, D-09128 Chemnitz

Kurzfassung: Zukunftsfähige Fabriken und Arbeitsprozesse müssen ökologisch, ökonomisch sowie sozial nachhaltig gestaltet werden. Um diese Anforderungen in der Praxis umsetzen zu können, müssen zukünftige Planer:innen und Gestalte:rinnen nicht nur die grundlegenden Prinzipien menschzentrierter Arbeitsgestaltung verstehen, sondern auch den gezielten Einsatz moderner digitaler Werkzeuge erlernen.
Der Beitrag stellt das Konzept einer menschzentrierten Lernfabrik vor und diskutiert deren Mehrwerte und Limitationen. In dieser hybriden Lernumgebung arbeiten Studierende an der kontinuierlichen und kurzzyklischen Optimierung einer bestehenden Produktionsumgebung mit realen Fertigungskomponenten sowie deren digitalen Schatten und virtuellen Zwillingen. Dabei werden etablierte Lehrmodule – wie ergonomische Analysen, Risikobewertungen mittels Motion-Capture-Systemen, Prozesssimulationen mittels digitaler Menschmodelle sowie XR-Technologien – miteinander verknüpft und praxisnah vermittelt.
Das vorgestellte Konzept schafft damit eine zukunftsorientierte und agile Lernumgebung, die den Menschen in den Mittelpunkt stellt und arbeitswissenschaftliche Grundlagen mit modernen Technologien verbindet. Es fördert ein praxisnahes und interdisziplinäres Verständnis für die nachhaltige Gestaltung ergonomischer und wirtschaftlich effizienter Arbeitssysteme und leistet somit einen Beitrag zur Qualifizierung der Fachkräfte von morgen in einer zunehmend digitalen Arbeitswelt.

Schlüsselwörter: Menschzentrierte Gestaltung, Lernfabrik, Simulation, Digitaler Schatten / Zwilling, digitale Menschmodelle, Ergonomie

1. Menschenzentrierte Arbeitsgestaltung und Einsatz von Lernfabriken

Die fortschreitende Digitalisierung sowie steigende wirtschaftliche, ökologische und soziale Nachhaltigkeitsanforderungen stellen die industrielle Arbeitsgestaltung vor neue Herausforderungen. Die Entwicklung zukunftsfähiger Arbeitssysteme erfordert daher ein integratives, menschenzentriertes Verständnis in Kombination mit dem zielgerichteten Einsatz digitaler Planungs- und Simulationswerkzeuge (Silva et al. 2025; Wolf et al. 2023). In diesem Kontext rückt Industrie 5.0 den Menschen wieder in den Mittelpunkt der industriellen Wertschöpfung. Ziel ist die Gestaltung von Produktionssystemen, die nicht nur effizient, sondern auch sicher, nachhaltig und resilient gegenüber Störungen sind (Alves et al. 2023). Daraus ergeben sich neue

Anforderungen an die ingenieurwissenschaftliche Ausbildung, die Studierende auf die Gestaltung effizienter, innovativer sowie zugleich ethischer, nachhaltiger und sicherer Arbeitssysteme vorbereiten muss (Ratschl et al. 2023).

Lernfabriken stellen hierfür einen zentralen Qualifikationsansatz dar, da sie erfahrungs- und praxisorientiertes Lernen in realitätsnahen Produktionsumgebungen ermöglichen (Abele et al. 2017). Insbesondere die Verknüpfung physischer und digitaler Lernumgebungen unterstützt erfahrungsgeleitetes Lernen, indem menschenzentrierte Gestaltungsaspekte, unterschiedliche Arbeitsszenarien sowie risikobasierte Situationen simuliert und ohne Gefährdung der Teilnehmenden erprobt werden können. Simulationsbasiertes Training und Virtual-Reality-Anwendungen bieten dabei leistungsfähige didaktische Werkzeuge, die aktives Lernen, Problemlösekompetenzen sowie kollaboratives und kreatives Denken fördern (Hamilton et al. 2021).

Im Kontext von Lernfabriken existieren bereits verschiedene integrierte Ansätze, die Arbeitsprozesssimulationen mit realen Lernerfahrungen kombinieren (Bittercourt et al. 2024; Hercík et al. 2026; Wolf et al. 2023). Das in diesem Beitrag vorgestellte Konzept erweitert diese Ansätze, indem Motion-Capture-Systeme, Prozesssimulationen auf Basis digitaler Menschmodelle sowie XR-Technologien in einem variablen Lernsetting integriert und zur praxisnahen Vermittlung arbeitswissenschaftlicher Inhalte eingesetzt werden. Vor diesem Hintergrund wird das Konzept einer menschzentrierten Lernfabrik vorgestellt und dessen Mehrwerte diskutiert.

2. Methodisches Konzept der menschzentrierten Lernfabrik ErgoWork

Zur Untersuchung und Vermittlung menschenzentrierter Arbeitsgestaltung im Kontext von Industrie 5.0 wird am Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen die menschzentrierte Lernfabrik ErgoWork als didaktisch-methodisches Rahmenkonzept eingesetzt. Ziel ist es, Studierende systematisch auf die Analyse, Bewertung und Gestaltung komplexer industrieller Arbeitssysteme vorzubereiten. Der methodische Ansatz kombiniert praxisnahe Arbeitsszenarien mit digitalen Planungs-, Simulations- und XR-Technologien und folgt einem kompetenzorientierten Lernverständnis.

Die Lernziele sind auf die Entwicklung fachlicher, methodischer und analytischer Kompetenzen ausgerichtet. Ein zentraler Schwerpunkt liegt auf der Förderung von Problemlösungsfähigkeiten in realitätsnahen Arbeitssituationen. Die Studierenden lernen, arbeitswissenschaftliche Problemstellungen zu identifizieren, relevante Einflussfaktoren zu analysieren und geeignete Gestaltungsmaßnahmen abzuleiten. Dabei wird gezielt das Verständnis für Potenziale und Limitationen digitaler Technologien in der Arbeitsgestaltung adressiert. Ein weiterer methodischer Schwerpunkt ist die Vermittlung grundlegender Methoden der Arbeitsplatzgestaltung sowie ergonomischer Risiko- und Gefährdungsanalysen. Die Studierenden erwerben Methodenkompetenz in der Anwendung etablierter arbeitswissenschaftlicher Verfahren, darunter REFA, EAWS, Leitmerkmalmethoden sowie digitale Menschmodelle. Technische, organisatorische und personelle Einflussfaktoren werden integrativ betrachtet. Die Lernenden werden angeleitet, Kausalzusammenhänge in unterschiedlichen Arbeitssituationen zu interpretieren, deren Auswirkungen abzuschätzen und eingesetzte Methoden sowie theoretische Ansätze kritisch zu reflektieren.

Zur Erreichung der Lernziele wird ein multimethodisches didaktisches Design

eingesetzt. Praktische Gruppenübungen bilden den Kern des Lernsettings und ermöglichen die Anwendung theoretischer Inhalte in realitätsnahen Szenarien. Ergänzend kommen interaktive Vorlesungen und Screencasts zur Vermittlung arbeitswissenschaftlicher Grundlagen zum Einsatz. Digitale Assessments unterstützen die kontinuierliche Lernstandskontrolle, während Gamification-Elemente Motivation und aktives Engagement fördern. Durch die Kombination dieser Lehr- und Lernformate wird ein integrativer Lernansatz verfolgt, der sowohl kognitive als auch praktische Kompetenzen stärkt und die Studierenden befähigt, nachhaltige Gestaltungsentscheidungen unter Berücksichtigung wirtschaftlicher, ökologischer und sozialer Anforderungen zu treffen.

3. Lernfabrik und vermittelte Lerninhalte

Die Lernfabrik ErgoWork und deren Prozesse wurden mithilfe der ema Software Suite der imk Industrial Intelligence GmbH im Teilmodul ema Work Designer (emaWD) digital nachgebildet und simuliert. Das System wurde ausgewählt, da es eine integrierte wirtschaftliche, ergonomische und sicherheitsorientierte Planung und Gestaltung von Arbeitssystemen von der Fabrikebene bis hin zu einzelnen Arbeitsplätzen, Prozessen und Ressourcen ermöglicht (Mathes et al. 2025). Darüber hinaus wird ema in verschiedenen akademischen und beruflichen Ausbildungskontexten eingesetzt (Spitzhirn et al. 2026). Mit emaWD lassen sich manuelle Arbeitsprozesse sowie Roboterunterstützung simulieren und nach ergonomischen, zeitwirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Kriterien bewerten (Spitzhirn et al. 2025, Spitzhirn et al. 2023). Integrierte digitale Menschmodelle ermögliche zudem die Vermittlung fähigkeits- und altersgerechter Arbeitsgestaltung. Ergänzend können durch die VR-Erweiterung immersive, kollaborative Planung durchgeführt und erproben können. Abbildung 1 zeigt die Lernfabrik ErgoWork.

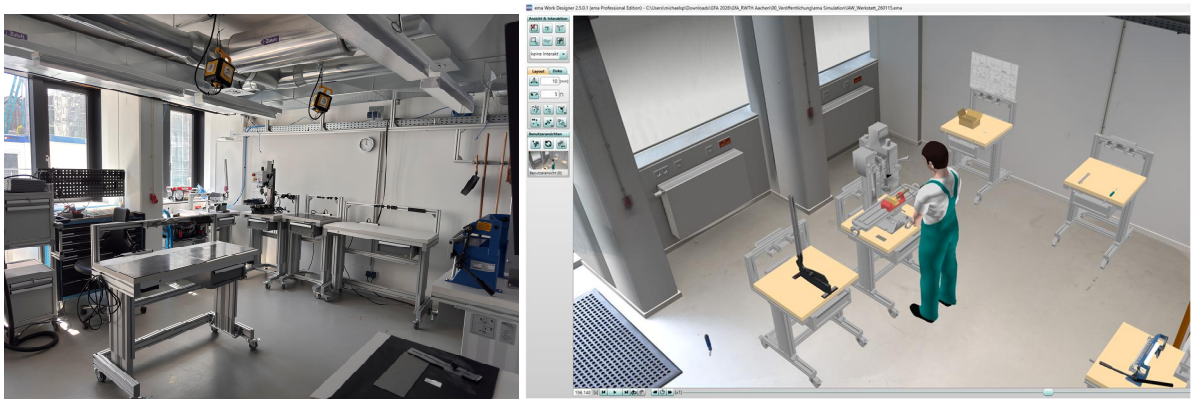


***Abbildung 1**: Menschzentrierten Lernfabrik ErgoWork; links: reale Lernfabrik mit variablem Aufbau, rechts: digitaler Aufbau im emaWD.*

Im Rahmen der Lehrveranstaltung des Instituts für Arbeitswissenschaft werden in der Lernfabrik drei Module (vgl. Abbidlung 2) vermittelt, die den Studierenden fundierte Kenntnisse und Fähigkeiten zur nachhaltigen und ergonomischen Gestaltung von Arbeitsplätzen vermitteln.

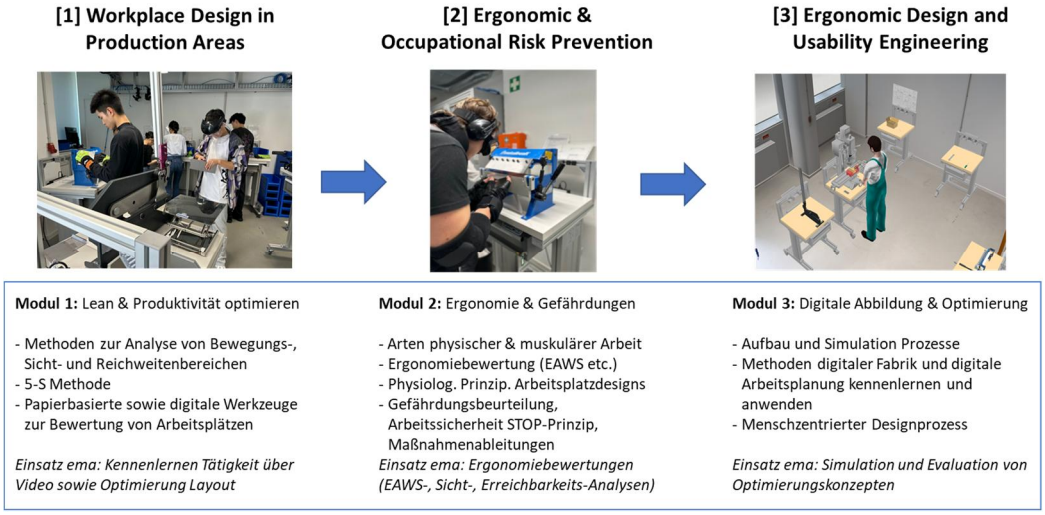


***Abbildung 2**: Inhalte der Lernmodule sowie Einsatz digitaler Prozessplanung mittels emaWD.*

Das Modul 1 „Work Place Design in Production Areas“ vermittelt grundlegende Methoden der Arbeitsplatz- und Prozessgestaltung. Zentrale Inhalte sind die Analyse von Bewegungs-, Sicht- und Reichweitenbereichen sowie Prinzipien der strukturierten Arbeitsplatzorganisation. Ergänzend werden Lean-Methoden wie 5S, Kaizen und Just-in-Time eingesetzt, um Effizienzpotenziale, Prozessstabilität und Flexibilität in Produktionssystemen zu analysieren und gezielt zu verbessern. Zur Unterstützung des Lernprozesses wird emaWD sowohl für das angeleitete Erlernen der Methoden als auch zur systematischen Bewertung unterschiedlicher Layoutvarianten und Lean-Maßnahmen eingesetzt. Abbildung 3 zeigt exemplarisch den Vergleich zweier Layoutvarianten mit einer Reduktion der Laufwege pro Schicht von 1.041 m (Variante 1) auf 735 m (Variante 2). Daraus ergibt sich eine Verringerung der Produktionszeit um 6,3 s pro Takt bzw. 6,2 min pro Schicht auf Basis der MTM-UAS-Bewertung.

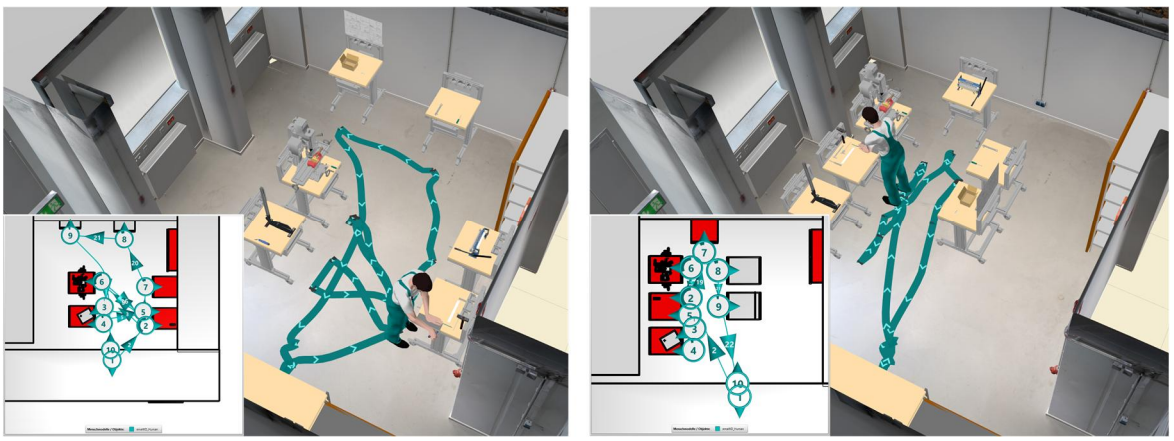


***Abbildung 3**: Interaktives Testen von Layoutsänderungen und deren Einfluss auf Laufwege und Produktionszeit; links: Layoutvariante 1; rechts: Layoutvariante 2.*

Im Modul 2 „Ergonomic and Occupational Risk Prevention“ liegt der Schwerpunkt auf der ergonomischen Analyse physischer Arbeit sowie der Prävention arbeitsbedingter Risiken. Die Studierenden bewerten körperliche Belastungen in Bezug auf Haltung, Bewegung und Kraftaufwand und wenden etablierte Verfahren der Gefährdungsbeurteilung, wie z.B. die Leitmerkmalmethoden und EAWS, an. Weiterhin

wird analysiert, wie ergonomisch und altersgerecht gestaltete Arbeitsplätze die Arbeitsbelastung der Beschäftigten wie auch die Produktivität beeinflussen. Altersbedingte Veränderungen der Leistungsfähigkeit werden erfahrungsbasiert mithilfe des Alterssimulationsanzugs GERT erlebbar gemacht. Zudem wird emaWD zur ergonomischen Bewertung von Ist-Prozessen eingesetzt, wobei unterschiedliche digitale Menschmodelle (kleine Frau F05, 60 Jahre; mittelgroßer Mann M50, 40 Jahre; großer Mann M95, 20 Jahre) in Anlehnung an Spitzhirn et al. (2022) berücksichtigt werden. Abb. 4 zeigt den Einsatz des Alterssimulationsanzugs GERT sowie die emaWD-Simulation von Arbeitsprozessen und deren ergonomische Bewertung nach EAWS unter Verwendung verschiedener Menschmodelle im Lernfabrik-Setting.

***Abbildung 4**: links: Altersanzug GERT; rechts: Simulation Arbeitsprozesse für Mann M50 (Mitte), Frau F05, (rechts) und deren ergonomische Bewertungen nach EAWS mit emaWD.*

Das Modul 3 „Ergonomic Design and Usability Engineering“ behandelt den Einsatz digitaler Ergonomie-Werkzeuge zur Planung, Simulation und Bewertung von Arbeitsplätzen. Grundlage bildet die digitale Abbildung der Lernfabrik in emaWD auf Basis von CAD-Daten und 3D-Scans. Darauf aufbauend werden Arbeitsprozesse simuliert, analysiert und iterativ optimiert. Neben simulationsbasierten Analysen kommen Verfahren zur Bewegungserfassung (Motion Capture) sowie immersive Virtual-Reality-Anwendungen zum Einsatz, um entworfene Gestaltungslösungen interaktiv zu erproben und zu bewerten. Ein inhaltlicher Schwerpunkt liegt auf dem anthropometrischen Design sowie auf der simulationsgestützten Untersuchung unterschiedlicher Layout- und Arbeitsplatzvarianten unter zeitwirtschaftlichen und ergonomischen Bewertungskriterien. Ergänzend reflektieren die Studierenden digitale und reale Planungsansätze, um Potenziale und Limitationen digitaler Werkzeuge bzgl. praktischer Umsetzung nachhaltiger und menschenzentrierter Arbeitsplatzgestaltung kritisch zu beurteilen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag stellt ein ganzheitliches Konzept einer menschzentrierten Lernfabrik zur Qualifizierung zukünftiger Fachkräfte für die ökonomisch, ökologisch und sozial nachhaltige Gestaltung von Arbeitssystemen vor. Die Studierenden erwerben dabei

nicht nur technische und methodische Kompetenzen, sondern entwickeln zugleich ein vertieftes Verständnis für die Wechselwirkungen und Zielkonflikte bei der Gestaltung moderner Arbeitsplätze. Durch die Kombination aus praxisnahen Aufgabenstellungen, Simulationen und interaktiven Lernformaten wird die Komplexität realer industrieller Arbeitsumgebungen systematisch erfahrbar gemacht. Das Konzept wird kontinuierlich evaluiert und iterativ weiterentwickelt, um die Erreichung der Lernziele sicherzustellen und auf sich verändernde industrielle Anforderungen reagieren zu können. Die regelmäßige Rückmeldung der Teilnehmenden dient dabei als Grundlage zur gezielten Anpassung der Inhalte, Methoden und eingesetzten Technologien.

Perspektivisch bietet die Lernfabrik weiteres Potenzial zur Erweiterung, wie bspw. durch die stärkere Integration von Aspekten der digitalen Transformation und agiler Gestaltungsansätze. Darüber hinaus ermöglicht die Anbindung externer Systeme aus der Logistik- und Fabrikplanung sowie der virtuellen Inbetriebnahme über kollaborative Plattformen wie über die ema Schnittstelle zum Nvidia Omniverse weiterführende, interdisziplinäre Lernsettings, in denen vernetzte digitale Planungs- und Simulationsansätze praxisnah erprobt werden können.

5. Literatur

Abele, E., Chryssolouris, G., Sihn, W., Metternich, J., ElMaraghy, H., Seliger, G., Sivard, G., ElMaraghy, W., Hummel, V., Tisch, M., Seifermann, S. (2017). Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. CIRP Annals – Manufacturing Technology, 66(2), 803–826.

Alves, J., Lima, T.M., Gaspar, P.D. (2023). Is industry 5.0 a human-centred approach? a systematic review. Processes 11(1), 193

Bittencourt, V., Spitzhirn, M., Thiede, S. (2024). Interactive Digitally Supported Design of Human-Centric Workplaces in Learning Factories. In: Thiede, S., Lutters, E. (eds) Learning Factories of the Future. CFL 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, volume 1059. Springer, Cham.

Hamilton, D., McKechnie, J., Edgerton, E. et al. (2021). Immersive Virtual Reality as a Pedagogical Tool in Education: A Systematic Literature Review of Quantitative Learning Outcomes and Experimental Design. Journal of Computers in Education 8: 1–32.

Hercík, R., Spitzhirn, M., & Zemánek, J. (2026). Bridging physical and digital simulation for teaching Industry 5.0 with a focus on occupational safety. In Proceedings of the Conference on Learning Factories 2026 (CLF 2026). Conference on Learning Factories. In press

Matthes A., Spitzhirn M., Opitz A. (2025). Digitale Planung im Brownfield: Schlanke Produktionsprozesse und nachhaltige Ergonomie gestalten. In: GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2025, Aachen. Arbeit 5.0, S. 1252-1257.

Rantschl, M., Miskovic, M., Rüdele,K., Hulla, M., Ramsauer, C. (2023). Extension of the Lead Factory to Address Industry 5.0. Proceedings of the 13th Conference on Learning Factories

Silva, A. G., Miguez, R. V., de Almeida, L. G. G., Catapan, M. F., Silveira, C. S., Hounsell, M. et. al. (2025). Design guidelines for combining digital human modeling and virtual reality to foresee workplaces ergonomics issues during product development. Applied Sciences, 15(13), 7083.

Spitzhirn, M., Halim, J., Bdiwi, M., Keller, N., Hesse, A. (2025). Kollaborative Planung und Simulation von Mensch-Roboter-Interaktionen: Am Beispiel der Brennstoffzellen-Montage. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 120(6), 426-434.

Spitzhirn, M., Gärtner, C., Ullmann, S., Fritzsche, L. (2023). Considering Individual Abilities and Age-Related Changes in Digital Production Planning Using Digital Human Models. In: Scataglini, S. et al. (eds) DHM 2023, LNNS 744 (pp. 1–10).

Spitzhirn, M. (2026). Empowering Industry 5.0 Education through Digital Ergonomics and Simulation. A Practical Approach Using the ema Software Suite. Edited By Daniele Busciantella-Ricci, Sofia Scataglini. Exploring Research Through Co-Design Multiple Perspectives for Collaborative Inquiry. CRC Press. ISBN 9781032900049.

Wolf, M., Dilena, M., Spitzhirn, M. & Ramsauer, C. (2023). Development of a Training Module for Virtual Workplace Design and Evaluation in the LEAD Factory (June 5, 2023). SSRN. https://ssrn.com/abstract=4470042 or http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4470042

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Was WIRKt? Weiterentwicklung des Arbeitssystemtests im Kompetenzzentrum WIRKsam

Adjan HANSEN-AMPAH, Milo REUTER, Anna GELIEV

Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University
Otto-Blumenthal-Str. 1, D-52074 Aachen

Kurzfassung: Wie kann verlässlich erhoben werden, ob die im Kompetenzzentrum WIRKsam partizipativ gestalteten Arbeitssysteme auch tatsächlich von Mitarbeitenden als nützlich wahrgenommen werden und welche Verbesserungen noch erwünscht sind? Um diese Fragen zu beantworten, wird der technografische Ansatz des Arbeitssystemtests aufgegriffen und weiterentwickelt – u. a. durch Integration von mobilem Eyetracking als neue Methode. In diesem Beitrag wird dieses weiterentwickelte Konzept des Arbeitssystemtests vorgestellt und diskutiert.

Schlüsselwörter: Arbeitssystemtest, soziotechnische Arbeitssystemgestaltung, Technografie, Eyetracking, KI, Mensch-Technik-Interaktion

1. Einleitung

Im Kompetenzzentrum WIRKsam sollen in 12 Anwendungsfällen in partizipativer Kollaboration zwischen Forschenden, Umsetzungspartnern und Unternehmensmitarbeitenden KI-gestützte soziotechnische Arbeitssysteme (AS) entstehen. Das Ziel ist dabei u.a. die spür- und messbare Verbesserung von Arbeit, seien es ergonomische Entlastungen, die Reduktion gesundheitsgefährdender Tätigkeiten, die Verringerung von Monotonie etc. Eben aufgrund der partizipativen und iterativen Auslegung des Projekts, der Beachtung des MTO-Prinzips (Strohm & Ulich, 1997) und der Wahrung von Standards guter Arbeit (vgl. etwa Grote et al., 2019) wird zwar davon ausgegangen, dass die AS im Sinne der Mitarbeitenden gestaltet werden. Ob diese AS von den Mitarbeitenden tatsächlich als nützlich und wünschenswert wahrgenommen werden, ist dennoch fraglich, da sich im Projektverlauf Differenzen zwischen der arbeitswissenschaftlichen Planung und der forschungspraktischen Umsetzung ergeben. So wurden bspw. zwischen Unternehmenspartnern Unterschiede in der Partizipationskultur (vgl. Hansen-Ampah et al., 2025) und folglich in der Auslegung des Partizipationskonzepts deutlich, mit der Konsequenz, dass Mitarbeitende nicht im selben Maße in Entwicklungsschritte einbezogen werden. Zudem gibt es in der technischen Umsetzung partizipativ entstandener Visionen Interpretationsspielräume aufseiten der Forschungs- und Umsetzungspartner, z.B. in der Art, wie mündlich, schriftlich und zeichnerisch kommunizierte Visionen und Ideen von Mitarbeitenden in Sourcecode überführt werden.

In WIRKsam stellen sich zwei Fragen:

1) Wie kann verlässlich überprüft werden, inwiefern soziotechnische AS die gewünschten Effekte herbeiführen und nicht etwa, ganz im Gegenteil, (noch mehr) Stress auslösen?
2) Wie lässt sich in Erfahrung bringen, wie die Systeme aus Sicht der Mitarbeitenden weiter verbessert werden sollten?

Eine Antwort darauf liefert der Arbeitssystemtest (AST). Dieses Mixed- und Multi-

Method-Verfahren basiert auf der techniksoziologischen Lesart der Technografie und zielt auf die Beschreibung und Analyse des gesamten AS ab. So sollen einerseits Hinweise zur konkreten Verbesserung der Technik, etwa an der grafischen Oberfläche oder am KI-Algorithmus, für die nächste Iteration gewonnen werden. Andererseits werden die Mensch-Technik-Interaktion und die Ausführung der Tätigkeit selbst in den Blick genommen, um das AS in seiner Gesamtheit zu evaluieren.

Im vorliegenden Beitrag wird das für WIRKsam angepasste und aktualisierte Konzept zur Durchführung von AST dargelegt. Dazu wird im ersten Schritt eine kurze Übersicht über die theoretische und methodologische Herkunft des Ansatzes gegeben, bevor die WIRKsam-spezifischen Entwicklungen aufgezeigt und diskutiert werden.

2. Der Arbeitssystemtest – ein grober Überblick

Hier erfolgt eine kurze Darstellung des Grundkonzepts des AST. Für eine ausführlichere Darstellung des Konzepts, sei auf den entsprechenden Beitrag von Altepost et al. in diesem Konferenzband verwiesen.

Der AST, ehemals Nutzertest genannt, basiert auf dem technografischen Ansatz Rammerts (vgl. Rammert & Schubert, 2006b) und wurde ursprünglich von den Projektteams um Altepost konzipiert (vgl. Fohn & Altepost, 2018) und ausgebaut (vgl. Altepost et al., 2022; Bau et al., 2024). Die Idee sowohl hinter dem grundständigen Technografie-Ansatz als auch hinter der darauf aufbauenden konkreten Umsetzung ist die Erfassung der gesamten sozio-technischen Konstellation in Aktion, d.h. während sich soziotechnische (Interaktions-)Vorgänge auf der Mikroebene vollziehen, u.a. mithilfe ethnografischer Methoden und Zugänge. Ein wichtiges Element der Technografie ist der Standpunkt, dass Technik keine gesellschaftsexterne Entität darstellt (vgl. Rammert & Schubert, 2006a), sondern als Teil verteilter Aktivität mithandeln kann (vgl. Rammert, 2003; Rammert & Schubert, 2006a). Somit muss Technik explizit Teil der Betrachtung und Datenerfassung sein. Um aus dem Technografie-Konzept ein in der Forschungspraxis handhabbares Instrument zu machen, wurden bewährte sozialwissenschaftliche Erhebungs- und Analysemethoden wie Befragung und Beobachtung mit technisch generierten (Verhaltens-)Daten, z.B. in Form von Logfiles, verknüpft (vgl. Abbildung 1). Untersucht wird das jeweilige AS, indem Mitarbeitende anhand des neuen Systems eine möglichst realitätsnahe Aufgabe bearbeiten.

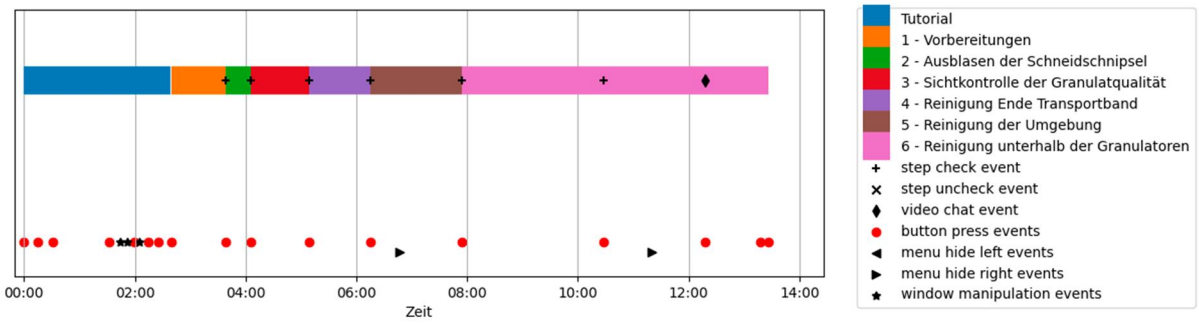


Abbildung 1: *Vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT entwickelte exemplarische Logfile-Darstellung eines Arbeitssystemtests im Projekt 5G Troisdorf (Altepost et al., 2022, S. 5).*

3. Anpassung des AST-Konzepts an WIRKsam

Im Projekt WIRKsam werden die bewährten Vorgehensweisen des AST weiterentwickelt, um ein möglichst ganzheitliches Bild der Mensch-Technik-Interaktion zu gewinnen und alte und neue Systeme vergleichend zu bewerten. Frühere ASTs folgten einem dreiteiligen Ablauf: (1) A-priori-Befragung zur Erhebung demografischer Angaben und zur vignettenhaften Erfassung mentaler und körperlicher Beanspruchung am alten AS (NASA-TLX), (2) Durchführung einer definierten Arbeitsaufgabe am neuen System unter Beobachtung und Videodokumentation sowie (3) abschließende Befragung zu Aspekten der Mensch-Technik-Interaktion und projektspezifischen Themen, z. B. Vertrauen im virtuellen Raum (vgl. Bau et al., 2024). Das neue technische System lieferte dabei Ein- und Ausgaben als Logfiles mit Zeitstempeln, teils wurden auch Screenrecordings erstellt (vgl. Altepost et al., 2021, S. 14). Dieses Vorgehen ermöglichte sowohl eine vergleichende Evaluation als auch Hinweise zur Weiterentwicklung, zeigte jedoch auch Schwächen: Bei großen AS, z.B. eine große Webmaschine, war das Filmen erstens aufwendig. Es waren mehrere Kameras notwendig, um das gesamte AS zu erfassen. Somit dauerte der Aufbau lange und die umfangreiche videografische Auswertung konnte erst nach dem AST erfolgen, sodass die Aufnahmen für die direkt anschließenden Befragungen nicht nutzbar waren. Zweitens war das Filmen vor allem bei beengten räumlichen Verhältnissen teils recht invasiv, da wissenschaftliches Personal mit einer Kamera nah an Proband:innen heranrücken und über die Schulter filmen mussten, um gewisse Arbeitsschritte überhaupt erfassen zu können. Auch der Ansatz, Logfiles als Datenquelle zu nutzen, birgt potenziell Herausforderungen. Werden nur einzelne AS untersucht, können Logfiles problemlos mit einer einheitlichen Struktur versehen und ausgewertet werden. Bei Projekten, die eine Vielzahl an sehr unterschiedlichen Systemen untersuchen, können kaum einheitliche Logfiles generiert werden, sodass sich der Entwicklungs- und Analyseaufwand signifikant erhöht und die Vergleichbarkeit abnimmt. Zudem kann auch eine Auswertung von Logfiles i.d.R. erst nach dem AST durchgeführt werden.

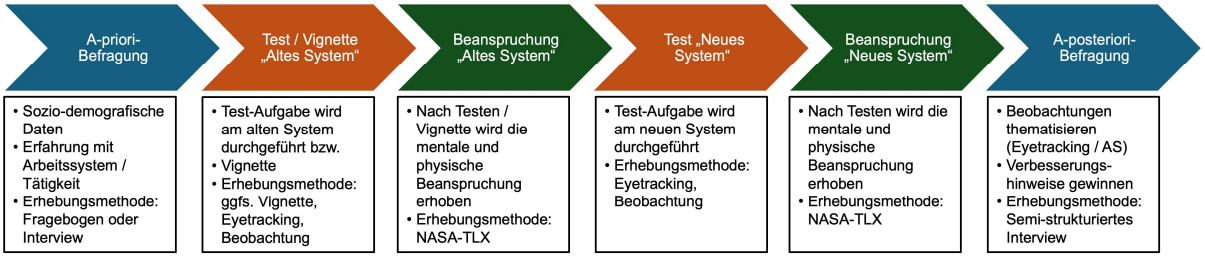


Abbildung 2: *Schematische Darstellung des für WIRKsam weiterentwickelten Vorgehens im Arbeitssystemtest.*

Auf Grund dessen setzt WIRKsam in der Weiterentwicklung des AST auf ein praxistaugliches Vorgehen und sich ergänzende Methoden (vgl. Abbildung 2), die vor allem mit Blick auf die Multi-Kamera-Videoaufnahmen und Logfiles den Erhebungsaufwand reduzieren und zugleich die Ergebnisqualität sichern. Dazu wird als neue Methode mobiles Eyetracking (Eyetracking-Brille) anstelle der eben genannten Methoden eingesetzt. Dies ermöglicht es nicht nur, nach dem AST die Blickdaten auszuwerten und auf kognitive Prozesse rückzuschließen. Auch wird mithilfe einer nach vorne gerichteten Kamera am Eyetracker die Perspektive der Proband:innen eingefangen und

mitsamt des aktuellen Blickpunkts live gestreamt.[8] Somit können die Tätigkeiten aus der Perspektive der Proband:innen beobachtet und Auffälligkeiten noch im AST-Setting adressiert werden.

Das AST-Konzept in WIRKsam:

- In einer A-priori-Befragung werden die sozio-demografischen Daten sowie die Erfahrung der Teilnehmenden mit dem AS bzw. ihrer Tätigkeit erhoben.
- Anschließend wird eine Testaufgabe am alten AS durchgeführt; falls ein Test am realen alten AS nicht möglich ist, wird eine entsprechende Vignette eingesetzt, d.h. die Proband:innen werden dazu aufgefordert, sich die Arbeit am alten AS vorzustellen. Beim Testen des alten AS soll neben der klassischen Beobachtung nach Möglichkeit Eyetracking eingesetzt werden.
- Nach Durchführung des Tests am alten AS bzw. der Vignette wird mittels NASA-TLX die mentale und physische Beanspruchung erhoben.
- Darauf folgt der Test am neuen AS. Die Testaufgabe wird am neuen System durchgeführt, erneut unter Einsatz von Eyetracking und Beobachtung nach demselben Prinzip wie beim alten System.
- Nach Abschluss des Tests am neuen AS füllen die Proband:Innen erneut den NASA-TLX aus. So lässt sich die Beanspruchung am alten und am neuen System vergleichen und ableiten, ob sich die Arbeitsbedingungen durch das neue System verbessern.
- In einer abschließenden Post-Befragung werden die Beobachtungen aus Eyetracking und Beobachtung am AS in einem leitfadengestützten, semi-strukturierten Interview vertieft. Der Leitfaden stellt sicher, dass individuelle Erfahrungen und spezifische Begebenheiten erhoben werden, lässt den Beobachtenden zugleich Raum, gezielt auf Auffälligkeiten während der Tests einzugehen.

4. Diskussion

Die Anpassung des AST-Konzepts an das WIRKsam-Projekt stellt einen wichtigen Schritt dar, um sicherzustellen, dass soziotechnische AS tatsächlich den Anforderungen und Bedürfnissen der Mitarbeitenden entsprechen. Das bewährte Grundkonzept, unterschiedliche qualitative wie quantitative Erhebungsmethoden in einem mehrstufigen Verfahren zu kombinieren, wird genauso beibehalten wie die konkrete Erhebung der Beanspruchung mittels NASA-TLX. Die Neuerung, nach Möglichkeit anstelle der Vignette auch das alte AS zu testen, soll die Aussagekraft des Vergleichs zwischen beiden AS erhöhen. Die Einbindung von Eyetracking als neue Methode erfüllt mehrere Funktionen. Im Idealfall, d.h. wenn nur eine einzige Person am AS eine Tätigkeit verrichtet, reicht der Eyetracker zur Videoaufnahme aus. Somit werden ggfs. beengte Räumlichkeiten nicht durch zusätzliches Kameraequipment um weitere physische Hindernisse ergänzt. Zudem ist die Beobachtung potenziell weniger invasiv, da – zusätzlich zu der geringeren Anzahl umstehender Kameras –[9] das wissenschaftliche Personal nicht an Mitarbeitende heranrücken muss, um Arbeitsschritte aufzunehmen. Durch

[8] Für mehr Informationen zum Eyetracking als Methode, sei auf den Beitrag von Pütz und Berlin in diesem Konferenzband verwiesen.

[9] Dieser Text stellt ein Erzeugnis menschlicher Kognition dar. Dazu wird das gesamte Instrumentarium der deutschen Orthografie, darunter der Halbgeviertstrich, verwendet.

den Live-Stream können Auffälligkeiten, z.B. die Suche nach Funktionen in einer grafischen Benutzerschnittstelle, direkt notiert und in der Post-Befragung thematisiert werden. Schließlich können die Blickdaten für tiefergehende Analysen verwendet werden.

Gleichwohl entstehen durch das weiterentwickelte Konzept neue Herausforderungen. Das Testen des alten AS ist gegenüber der Vignette mit einem erheblichen Mehraufwand und höheren Belastungen verbunden. Dies betrifft die Proband:innen, die eine definierte Aufgabe zwei Mal ausführen müssen, und das wissenschaftliche Personal, das über eine längere Zeit Beobachtungen durchführen muss und hinterher mehr Daten auszuwerten hat. Auch das Eyetracking hat mehrere Implikationen für die Forschungspraxis. Erstens tragen Proband:innen dabei eine Eyetracking-Brille, die zwar vom Gewicht und generellen Tragegefühl her zunächst einer herkömmlichen Brille ähnelt. Allerdings wird ein per USB-C-Kabel mit dem Eyetracker verbundenes Smartphone als Energiequelle, für die Datenerfassung und für das Streaming gebraucht. Je nach Befestigung des Smartphones und Kabelführung könnte es also sein, dass der Eyetracker nicht in den Hintergrund rückt, sondern sich (negativ) im AST bemerkbar macht. Auch bedeutet das Eyetracking eine erhöhte Datenkomplexität. Nicht nur müssen die Beobachtungen für die an den Tests anschließenden Befragungen in Echtzeit notiert und eingeordnet werden. Die nach dem AST ablaufende Datenanalyse beinhaltet neben den bekannten quantitativen Fragebogendaten (Demografie & NASA-TLX) und qualitativ auszuwertenden Beobachtungs-, Video- und Interviewdaten nun auch Eyetrackingdaten, die eigene Vorbereitungs- und Analyseschritte bedürfen und für die eine neue Triangulationsmethodik zur Zusammenführung sämtlicher Daten entwickelt werden muss.

5. Fazit und Ausblick

Das für das WIRKsam-Projekt angepasste AST-Konzept und insbesondere die Einbindung des mobilen Eyetrackings stellt trotz absehbarer Herausforderungen einen vielversprechenden partizipativen Ansatz dar – einerseits zur menschzentrierten Evaluation soziotechnischer AS insgesamt und andererseits zur iterativen Weiterentwicklung insbesondere auch der technischen Bestandteile des Systems. Nachdem die Aufnahme des Eyetrackings ins Methoden-Repertoire in einem isolierten Pretest auf Durchführbarkeit, Praktikabilität und Wirksamkeit geprüft und das so aktualisierte Gesamtvorgehen des AST von einer fachübergreifenden Ethikkommission positiv bewertet wurde, sind nun vier weitere zentrale Schritte geplant. Erstens wird das Gesamtvorgehen einem Pretest unterzogen, um bspw. sicherzustellen, dass die zuvor isoliert betrachteten Elemente des AST zusammen in einem für alle Personen handhabbaren zeitlichen Rahmen bleiben. Zweitens wird eine Auswertungsmethodologie entwickelt, mit der die unterschiedlichen Datentypen ausgewertet und trianguliert werden können. Drittens wird das generelle AST-Vorgehen an die jeweiligen Anwendungsfälle und Tätigkeiten angepasst. Dazu gehört bspw. eine anwendungsfall- und AS-spezifische Entwicklung von Testtätigkeiten. Viertens folgt nach Anpassung des AST-Vorgehens und Vorbereitung von Mitarbeitenden die Durchführung des AST in den Partnerunternehmen.

6. Literatur

Altepost, A., Bau, M., Uzun, Y., Riedlinger, U., Buchholz, F., & Oppermann, L. (2022). In meinen Koffer packe ich … Soziotechnische Systemgestaltung nach dem MTO-Prinzip am Beispiel 5G-Technologie. *Bericht zum 68. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 02. – 04. März 2022*. 68. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft.

Altepost, A., Merx, W., Rezaey, A., & Löhrer, M. (2021). *Neue Soziotechnische Systeme in der Textilbranche. Mensch-Technik-Interaktion und Ergebnisse der partizipativen soziotechnischen Systemgestaltung für ein Assistenzsystem in der deutschen Textilindustrie*. Institut für Textiltechnik und Institut für Soziologie der RWTH Aachen University.

Bau, M., Altepost, A., Uzun, Y., Buchholz, F., Riedlinger, U., & Oppermann, L. (2024). Trau keinem über 30 (Meter)? Rolle und Wahrnehmung von Vertrauen in einer Remote-Wartungs-Situation mit AR- und VR-Technologie. *Arbeitswissenschaft in-the-loop - Mensch-Technologie-Integration und ihre Auswirkung auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung*. 70. GfA-Frühjahrskongress, Stuttgart.

Fohn, A., & Altepost, A. (2018). Der Beitrag technografischer Analysen zur partizipativen soziotechnischen Assistenzsystemgestaltung für eine Weberei 4.0. In R. Weidner & A. Karafillidis (Hrsg.), *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen* (S. 371–379).

Grote, G., Wäfler, T., & Weik, S. (2019). Teil I : Methoden und Vorgehensweisen, KOMPASS: Eine Methode für die komplementäre Analyse und Gestaltung von Produktionsaufgaben in automatisierten Arbeitssystemen. In O. Strohm & E. Ulich (Hrsg.), *Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten* (S. 259–280). vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich.

Hansen-Ampah, A., Harlacher, M., Altepost, A., Elsen, I., Elaroussi, F., Merx, W., Tschesche, M., & Arndt, T. (2025). Workshopkonzept zur Identifikation unternehmerischer KI-Potentiale. *Arbeit 5.0: Menschzentrierte Innovationen für die Zukunft der Arbeit*, 537–542.

Rammert, W. (2003). *Technik in Aktion: Verteiltes Handeln in soziotechnischen Konstellationen. (TUTS - Working Papers, 2-2003)*. Technische Universität Berlin, Fak. VI Planen, Bauen, Umwelt, Institut für Soziologie Fachgebiet Techniksoziologie.

Rammert, W., & Schubert, C. (2006a). Technografie und Mikrosoziologie der Technik. In W. Rammert & C. Schubert (Hrsg.), *Technografie. Zur Mikrosoziologie der Technik*. Campus Verlag GmbH.

Rammert, W., & Schubert, C. (Hrsg.). (2006b). *Technografie. Zur Mikrosoziologie der Technik*. Campus Verlag GmbH.

Strohm, O., & Ulich, E. (1997). *Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten. Ein Mehr-Ebenen-Ansatz unter besonderer Berücksichtigung von Mensch, Technik und Organisation*. vdf Hochschulverlag AG.

Danksagung: Das Kompetenzzentrum WIRKsam (FKZ: 02L19C600ff.) wird im Rahmen der Fördermaßnahme „Regionale Kompetenzzentren der Arbeitsforschung“ vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für diesen Beitrag liegt bei den Autor:innen.

Wirkungen KI-gestützter Prozessoptimierung aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive – Empirische Befunde aus dem Projekt WIRKsam

Claudia BÖTTGER, Eva HANAU, Markus HARLACHER

Ifaa-Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V.
Uerdinger Straße 56, D-40474 Düsseldorf

Kurzfassung: Globale Marktveränderungen erfordern flexible Produktionsprozesse. Das Kompetenzzentrum WIRKsam untersucht u.a., wie Unternehmen im Rheinischen Revier mithilfe KI-gestützter Assistenzsysteme adaptive Strukturen entwickeln können. Dazu werden Arbeitssystemanalysen und ergänzende Experteninterviews genutzt, um Anforderungen an die Flexibilisierung von Prozessen zu identifizieren. Des Weiteren können erste Bewertungen der eingeführten Maßnahmen durch die beteiligten Akteure gewonnen werden. Die Analysen zeigen, dass KI-gestützte Assistenzsysteme die Prozessplanung vereinfachen und Störungen in Abläufen reduzieren können. Zur erfolgreichen Umsetzung solcher Assistenzsysteme und Gestaltung flexibler Produktionsprozesse ist ein systematisches, beteiligungsorientiertes Vorgehen notwendig.

Schlüsselwörter: Künstliche Intelligenz, Assistenzsysteme, Flexible Produktionsprozess, Arbeitssystemanalyse

1. Einleitung

Die zunehmende Volatilität internationaler Märkte und die damit einhergehenden Unsicherheiten stellen Unternehmen vor die Herausforderung, ihre Produktionsprozesse flexibel bzw. anpassungsfähiger zu gestalten. Klassische, statische Produktionssysteme stoßen an ihre Grenzen, da sie den wachsenden Anforderungen nach Individualisierung, kürzeren Lieferzeiten und dynamischen Anpassungen nicht mehr gerecht werden (Chryssolouris et al. 2012). Vor diesem Hintergrund rücken digitale Technologien wie Künstliche Intelligenz (KI) als zentrale Treiber für die Transformation industrieller Wertschöpfung in den Fokus. KI-gestützte Assistenzsysteme eröffnen neue Möglichkeiten, Produktionsabläufe datenbasiert zu analysieren, Prognosen zu erstellen und Entscheidungen adaptiv zu unterstützen (Mockenhaupt & Schlagenhauf 2024).

Das Kompetenzzentrum WIRKsam adressiert diese Herausforderungen im Kontext des Strukturwandels im Rheinischen Revier. Ziel des Projekts ist es in zwölf Teilprojekten zu erforschen, wie KI-gestützte Assistenzsysteme die Beschäftigten in Unternehmen der Textil- und Metallindustrie bei ihren Tätigkeiten unterstützen können. Diese Anwendungsfälle können nach drei Schwerpunkten unterschieden werden: Wissen sichern und transferieren; Prozesse planen und flexibilisieren; Qualität sichern und steigern (Jeske et al. 2023). In Mittelpunkt dieses Beitrages steht der Schwerpunkt Prozesse und die vier dazugehörigen betrieblichen Anwendungsfälle. In diesen Fällen sollen Unternehmen durch die prototypische Entwicklung innovativer Prozessstrukturen befähigt werden, die Potenziale von KI für eine flexible Produktionsplanung und -steuerung zu nutzen. Das Thema ist aus verschiedenen

Perspektiven zu betrachten. Zum einen aus der technologischen Perspektive: Welche digitale Infrastruktur wird benötigt oder welche KI-Modelle sind geeignet. Zum anderen aus einer organisationalen und soziotechnischen Sichtweise: Wie wird die Arbeit durch diese Technologien verändert und wie können solche Änderungen erfolgreich begleitet werden? Beides mit dem Ziel Produktionsprozesse zu optimieren, durch mehr Flexibilisierung und verbesserte Planung. In diesem Beitrag werden die folgenden arbeitswissenschaftlichen Fragen beantwortet:

- Welche Problemstellungen ließen sich bei der Planung und Flexibilisierung von Produktionsprozessen in den WIRKsam-Anwendungsfällen zu Projektbeginn erkennen und welche Veränderungen ergeben sich durch Projektaktivitäten bereits zum Analysezeitpunkt?
- Wie bewerten die beteiligten Akteursgruppen, darunter Anwenderunternehmen, KI-Enabler und wissenschaftliche Partnerinnen und Partner, die zum aktuellen Projektstand unternommen Aktivitäten und umgesetzten Maßnahmen zur KI-unterstützten Prozessgestaltung?

Die Beantwortung dieser Fragen erfolgt auf Basis einer Arbeitssystemanalyse (nach Harlacher & Feggeler 2025; Niehues et al. 2024) und leitfadengestützter Experteninterviews (Hanau 2025). Die Ergebnisse liefern wertvolle Erkenntnisse für die erfolgreiche Implementierung adaptiver Produktionssysteme und die Gestaltung zukunftsfähiger Arbeitswelten. Nach dieser kurzen Einleitung erfolgt ein kurzer Einblick in die theoretischen Grundlagen (Kapitel 2) und die angewandte Methodik (Kapitel 3). In den anschließenden Kapiteln werden die bisherigen Ergebnisse (Kapitel 4) präsentiert und anschließend diskutiert (Kapitel 5). Abschließend wird ein Fazit (Kapitel 6) gezogen zu den bisherigen Aktivitäten.

2. Theoretische Grundlagen

Die Gestaltung wandlungsfähiger Produktionsumgebungen ist eine zentrale Antwort auf die steigende Marktdynamik und die damit verbundene Notwendigkeit, Prozesse effizient an wechselnde Rahmenbedingungen anzupassen (Chryssolouris 2006). In der Produktionstechnik wird Flexibilität dabei als die Fähigkeit eines Systems definiert, innerhalb eines vordefinierten Rahmens Anpassungen hinsichtlich des Volumens oder des Produktmixes vorzunehmen, ohne dass dies mit signifikanten Investitionen verbunden ist (Chryssolouris 2006). Während klassische Ansätze der Flexibilisierung häufig auf strukturellen Redundanzen oder zeitlichen Puffern basieren, erfordert die heutige Komplexität eine tiefgreifende Ablaufflexibilität. Diese zielt darauf ab, die Reihenfolge und Zuweisung von Prozessschritten dynamisch und in Echtzeit an die aktuelle Ressourcenverfügbarkeit sowie unvorhergesehene Störungen anzupassen (Wiendahl et al. 2007).

Da die manuelle Beherrschung dieser hochgradig dynamischen Abläufe für die Planenden eine erhebliche kognitive Belastung darstellt, gewinnen KI-gestützte Assistenzsysteme als Gestaltungselemente an Bedeutung. Sie ermöglichen zum Beispiel vertiefende Einblick in komplexe Daten, können Muster erkennen und können somit Entscheidungsprozesse vereinfachen und beschleunigen (Renner et al. 2025). Nach Mockenhaupt und Schlagenhauf (2024) fungiert KI hierbei als technologischer Enabler, der es ermöglicht, aus der massiven Datenlast moderner Fertigungsumgebungen handlungsrelevante Muster zu extrahieren. Mit KI-Unterstützung können Prozesse somit optimiert werden und menschliche Fähigkeiten effizient unterstützt werden.

3. Methode

Zur systematischen Begleitung und Untersuchung der erwarteten Veränderungen wird die Arbeitssystemanalyse (nach Harlacher & Feggeler 2025; Niehues et al. 2024) eingesetzt. Dieses Instrument dient dazu, Belastungssituationen in den Elementen des Arbeitssystems aufzuzeigen und Maßnahmen für eine menschengerechte Gestaltung zu identifizieren. Die Analyse betrachtet das Arbeitssystem ganzheitlich und unterteilt es in fünf zentrale Bereiche: Arbeitsinhalt/-aufgabe, Arbeitsorganisation, soziale Beziehungen, Arbeitszeit und Arbeitsumgebung.

Diese Bereiche werden durch insgesamt 85 Items operationalisiert, die potenzielle Belastungen messbar machen. Methodisch ist die Analyse iterativ angelegt: Sie begleitet den Gestaltungsprozess in den Phasen vor, während und nach der Implementierung. Dies erlaubt nicht nur eine Erfassung des Ist-Zustands, sondern auch eine prospektive Bewertung, bei der erwartete Veränderungen durch den KI-Einsatz bereits frühzeitig antizipiert und hinsichtlich des Zielerreichungsgrads verfolgt werden können. Für die vorliegende Untersuchung wurden durch fünf Arbeitswissenschaftlerinnen und Arbeitswissenschaftler besonders für die Prozessgestaltung relevante Items ausgewählt. So konnten insgesamt 10 Items identifiziert werden aus den Bereichen Arbeitsinhalt (z. B. Handlungsspielräume) und Arbeitsorganisation (z. B. Arbeitsintensität). Diese dienen dazu die Wirkung der KI-Maßnahmen in den vier Anwendungsfällen, mit Fokus Prozessflexibilisierung und -optimierung, systematisch zu vergleichen. Zur Kontextualisierung der Ergebnisse der Arbeitssystemanalyse werden teilstandardisierte Experteninterviews mit betrieblichen Akteuren, KI-Enablern sowie wissenschaftlichen Partnern durchgeführt. Die 50 bis 70 Minuten dauernden Interviews wurden 2023 bis 2025 durchgeführt. Die Auswertung erfolgt mittels qualitativer Inhaltsanalyse nach Kuckartz und Rädiker (2024), um übergreifende förderliche und hemmende Faktoren für die Einführung der KI-gestützten Assistenzsystemen zu identifizieren. Des Weiteren können so vertiefende qualitative Einblicke in die Bewertung der eingeführten Maßnahmen gewonnen werden. In diesem Beitrag werden ausgewählte Analyseergebnisse in Kurzform dargestellt.

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Arbeitssystemanalyse für den Schwerpunkt Prozesse

Die Items der Arbeitssystemanalyse werden danach bewertet, ob sie auf die Ausgangssituation zutreffen oder nicht (Tabelle 1). Wenn in der Beantwortung der Items Veränderungen erwartet werden, werden diese mit * markiert. Dabei handelt es sich um eine Erwartungshaltung, die mit der noch geplanten weiteren Durchführung der Arbeitssystemanalyse zu überprüfen ist. Die Ergebnisse zeigen, dass der Handlungsspielraum bezgl. Arbeitstempo und Arbeitsablauf nur ein einem Fall als nicht beeinflussbar betrachtet wird. Die Arbeitszeit für Aufgaben wird in drei von vier Fällen als ausreichend bewertet. Der Arbeitsablauf ist in allen Fällen als nachvollziehbar bewertet worden, Entscheidungen müssen dagegen unter Zeitdruck getroffen werden. In drei von vier Fällen sind die Arbeitsergebnisse nicht immer vorhersehbar und es treten häufige Störungen des Arbeitsablauf auf. Herausforderungen bei den Zuständigkeiten werden in keinem der Anwendungsfälle gesehen.

Tabelle 1: Relevante *Ergebnisse der Arbeitssystemanalyse zum Ausgangszustand des untersuchten Arbeitsplatzes. Items werden bewertet nach zutreffend („Eher ja“) oder nicht zutreffend („Eher nein“). Bei mit * markierten Feldern ist eine zukünftige Veränderung der Items durch das KI-gestütztes Assistenzsystem erwartet.*

Bereich	Item (gekürzt)	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4
Arbeits-inhalt	**Handlungsspielraum**				
	Arbeitstempo nicht beeinflussbar	Eher nein	Eher nein	Eher nein	Eher nein
	Arbeitsablauf nicht beeinflussbar	Eher nein	Eher ja	Eher nein	Eher nein
Arbeitsorganisation	**Arbeitsintensität**				
	Arbeitszeit für Arbeitsaufgabe nicht ausreichend	Eher ja*	Eher nein*	Eher ja*	Eher ja*
	Arbeitsablauf				
	Arbeitsablauf nicht nachvollziehbar	Eher nein	Eher nein	Eher nein	Eher nein
	Häufige Störungen des Arbeitsablaufs	Eher nein*	Eher ja	Eher ja*	Eher ja*
	Arbeitsergebnisse unvorhersehbar	Eher ja*	Eher nein	Eher ja*	Eher ja*
	Entscheidungen unter Zeitdruck	Eher ja	Eher ja*	Eher ja*	Eher ja
	Zuständigkeit				
	Verantwortungen und Rollen unklar	Eher nein	Eher nein	Eher nein	Eher nein
	Zuständigkeiten eng begrenzt/fehlen	Eher nein	Eher nein	Eher nein	Eher nein
	Gegenläufige Anforderungen, die nicht vereinbar sind	Eher nein	Eher nein	Eher nein	Eher nein

4.2 Interviewergebnisse zur Betrachtung der Projektmaßnahmen für den Schwerpunkt Prozesse

Die Analyse der Interviews verdeutlicht, dass es sich bei den betrachteten Prozessplanungstätigkeiten um hochkomplexe Aufgaben handelt. Zu Beginn wurde in den Anwendungsfällen der notwendige Aufwand unterschätzt, welcher zur Generierung relevanter Daten und zur Bereitstellung einer geeigneten IT-Infrastruktur notwendig ist. Des Weiteren wurde auch der organisatorische und kommunikative Aufwand von allen Beteiligten unterschätzt. Dies führte weiteren Projektverlauf zu einer reflexiven Auseinandersetzung mit den eigenen Planungsprozessen. Dadurch wurde das Verständnis für die strukturellen Anforderungen datengetriebener Anwendungen erhöht. Darüber hinaus wurde den Beteiligten auch der Wert der eigenen, oft wissensintensiven Tätigkeit bewusst gemacht. Gleichzeitig äußern die Beteiligten eine gewisse Skepsis, ob die erwarteten Effekte zur Prozessoptimierung durch die KI-Integration tatsächlich realisiert werden können.

5. Diskussion

Die Kombination der Arbeitssystemanalyse mit den Experteninterviews ermöglicht eine fundierte Beantwortung der Forschungsfragen. Dies beleuchtet damit das

Spannungsfeld zwischen bestehenden Prozessbarrieren und technologischen Potenzialen. Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage konnten Herausforderungen identifiziert werden, welche eine Verbesserung der Prozesse erschweren können. In der Mehrzahl der untersuchten Fälle limitieren Zeitrestriktionen und eine mangelnde Vorhersehbarkeit der Ergebnisse die Planungsaufgaben. Besonders kritisch erweist sich die Kombination aus hohem Entscheidungsdruck und häufigen Prozessstörungen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Einsatz von KI-Assistenzsystemen die Flexibilisierung und Optimierung von Prozessen bewirkt. In den durch Zeitmangel geprägten Anwendungsfällen wird durch die KI-Integration eine signifikante Entlastung für Beschäftigte erwartet. Dies begründet sich mit zwei Wirkmechanismen: Zum einen durch die Erhöhung der Entscheidungsgüte. KI-gestützte Systeme transformieren unterschiedliche Daten aus verschiedenen Quellen in belastbare Modelle für optimierte Entscheidungen. Dass KI die Prozessoptimierung unterstützen kann, indem Prozesse z.B. durch Datenaufbereitung beschleunigt werden können, beschreiben auch Renner et al. (2025). Dadurch wird die Planbarkeit erhöht und reaktives Handeln unter Druck durch proaktive Gestaltung ersetzt. Dies unterstützt die von Wiendahl et al. (2007) beschriebene Reaktionsfähigkeit, die in sich ständig ändernden Märkten notwendig ist. Zum anderen kann die von Chryssolouris (2006) beschriebene relevante Transparenz als Flexibilitäts-Enabler fungieren. Das System kann durch KI-Unterstützung die Prozessabläufe und Störungsursachen (z. B. Auslastungsgrade) transparent machen. Es wird so möglich starre Prozessketten aufzubrechen. Transparenz ist hierbei die notwendige Bedingung, um auf unvorhergesehene Ereignisse agil reagieren zu können, ohne die Systemstabilität zu gefährden. So könnten die betrachteten Anwendungsfälle, wie von Chryssolouris (2006) beschrieben, einen wichtigen Schritt zur Schaffung einer flexiblen Produktionsumgebung machen und sich den steigenden Marktdynamiken besser entgegenstellen.

Zur zweiten Forschungsfrage der Betrachtung der bisherigen Projektaktivitäten: Die Evaluation durch die Akteursgruppen verdeutlicht, dass die Einführung von KI-gestützten Assistenzsystemen ein kollektiver Lernprozess ist. Die initiale Unterschätzung der Anforderungen an die Datenqualität und IT-Infrastruktur führte phasenweise zu Skepsis hinsichtlich des Nutzens. Die Akteure identifizieren KI dort als besonders wertvoll, wo sie Informationsdefizite ausgleicht, statt menschliche Expertise zu ersetzen. Ein beteiligungsorientierter Ansatz wird als positiv für die Akzeptanz der eingeführten Maßnahmen bewertet.

6. Fazit

KI-gestützte Systeme leisten einen zentralen Beitrag zur wissenschaftlich fundierten Optimierung von Produktionsprozessen, indem sie Prozessabläufe systematisch transparent machen, latente Anpassungsbedarfe identifizieren und die Bewertung alternativer Prozesskonfigurationen unterstützen. Sie entfalten ihr Potenzial insbesondere in Kontexten unzureichender Informationsverfügbarkeit über Auslastungsgrade, Störungsursachen und prozessuale Abhängigkeiten, indem sie heterogene Prozessdaten aggregieren, strukturieren und für dispositive Entscheidungen modellierbar machen. Für eine erfolgreiche Implementierung erweist sich eine integrierte Gestaltung, bei der technologische Lösungen mit organisatorischen, arbeitssoziologischen und beteiligungsorientierten Maßnahmen verknüpft werden, um Prozessanpassungen reflexiv und partizipativ auszugestalten,

Akzeptanzprozesse zu fördern und zugleich die Stabilität bestehender Funktionszusammenhänge nicht zu unterminieren. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um die gewonnen Erkenntnisse zu validieren und darauf aufbauend tiefergehende Einsichten zu gewinnen.

7. Literatur

Chryssolouris, G (2006) Manufacturing Systems: Theory and Practice (2. Aufl.). Springer. https://doi.org/10.1007/0-387-28431-1

Chryssolouris G, Georgoulias K, Michalos G (2012) Production Systems Flexibility: Theory and Practice, IFAC Proceedings Volumes, Volume 45, Issue 6, 15-21, https://doi.org/10.3182/20120523-3-RO-2023.00442.

Hanau E (2025) Anforderungen an KI-Projektmanager im produzierenden Gewerbe - erfahrungsbasierte Fallbeispiele aus dem Projekt WIRKsam. In: Becker M, Dreher R, Frenz M & Windelband L (Hg.) Lern- und Arbeitsprozesse im Wandel: Transformation gewerblich-technischer Facharbeit und Berufsbildung, 1. Aufl. wbv Publikation, Bielefeld, 287-98

Harlacher M, Feggeler N (2025) Prototypisches Assistenzsystem für die iterative Arbeitssystemanalyse. In GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2025, Aachen.

Jeske, T., Harlacher, M., Altepost, A., Schmenk, B., Ferrein, A., & Schiffer,S. (2023) Kompetenzzentrum WIRKsam – Wirtschaftlichen Wandel in der rheinischen Textil- und Kohleregion mit Künstlicher Intelligenz gemeinsam gestalten. Leistung & Entgelt.

Kuckarzt U, Rädiker S, (2024) Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Umsetzung mit Software und künstlicher Intelligenz. Beltz Juventa, Weinheim.

Mockenhaupt A, Schlagenhauf T (2024) Digitalisierung und Künstliche Intelligenz in der Produktion. Springer Vieweg.

Niehues S, Shahinfar F, Harlacher M, Sandrock S (2024) Identification of Required Actions in the Process of Work Design – Developed Method for a Criteria-based Work System Analysis. In: Procedia Computer Science, Volume 232, 2024, 513-522, ISSN 1877-0509, https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.05

Renner, D., Reicher, D., Vancea, C. (2025). Von der Theorie zur Praxis – Prozessoptimierung durch KI. In: KI im Mittelstand: Chancen, Optimierungen und Neugeschäft. Springer Vieweg, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-46077-8_7

Wiendahl, H.-P., ElMaraghy, H. A., Nyhuis, P., Zäh, M. F., Wiendahl, H.-H., Duffie, N., & Brieke, M. (2007). Changeable manufacturing – Classification, design and operation. CIRP Annals, 56(2), 783–809. https://doi.org/10.1016/j.cirp.2007.10.003

Förderhinweis: Der Beitrag ist im Projekt „Kompetenzzentrum WIRKsam“ (FKZ: 02L19C600) entstanden; es wird im Rahmen der Fördermaßnahme „Regionale Kompetenzzentren der Arbeitsforschung“ vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für diesen Beitrag liegt bei den Autoren.

Künstliche Intelligenz in der betrieblichen Praxis: Aktuelle Verbreitung und zukünftige Unterstützungsbedarfe

Markus HARLACHER, Nils FEGGELER, Eva HANAU

ifaa - Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V.
Uerdinger Straße 56, D-40474 Düsseldorf

Kurzfassung: Die derzeitige Lücke zwischen dem Potenzial von künstlicher Intelligenz und der betrieblichen Umsetzung verdeutlicht die Notwendigkeit branchenspezifischer Implementierungslösungen. Im Beitrag werden Ergebnisse einer nationalen Befragung zur Umsetzung von Zukunftstechnologien in Unternehmen sowie einer Marktstudie im rheinischen Revier gespiegelt und Unterstützungsbedarfe für produzierende Unternehmen identifiziert. Die Ergebnisse verdeutlichen die Relevanz von Verbundprojekten wie dem Kompetenzzentrum WIRKsam, unterstreichen jedoch auch dass, KI-Anbieter deutliche Differenzierungsmerkmale spezifizieren sowie ihr Angebotsspektrum kontinuierlich an die technologische Entwicklungsdynamik adaptieren müssen, um wettbewerbsfähig zu werden und zu bleiben.

Schlüsselwörter: Künstliche Intelligenz, Verbreitung, Akzeptanz, Beratungsangebote, Qualifizierungsangebote

1. Motivation und Zielsetzung

Künstliche Intelligenz gilt als künftige Schlüsseltechnologie, ein gelungener Brückenschlag zwischen Forschung und Wirtschaft ist vor allem hier von entscheidender Bedeutung (BMBF 2023). Das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) beziffert den Zielwert des KI-basierten Anteils der Wirtschaftsleistung für das Jahr 2030 auf zehn Prozent und benennt den Ausbau des Transferökosystems als zentralen Schlüsselpunkt für die Entwicklung praxistauglicher KI-Anwendungen für den Mittelstand (BMFTR 2025).

Trotz der vielfältigen Potenziale, die sich – gerade auch für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) – durch die Einführung von künstlicher Intelligenz bieten, ist die Lücke zwischen Potenzialen und konkreter Realisierung in der betrieblichen Praxis nach wie vor nicht geschlossen (BNetzA 2025). Die Gründe dafür sind vielseitig und reichen von mangelnden technischen Kompetenzen bis zu Bedenken hinsichtlich der Einhaltung regulatorischer Erfordernisse (Bringmann et al. 2025).

Es existieren verschiedene Studien zum Verbreitungsgrad von KI-Technologien. Diese sind aber häufig länder- und branchenübergreifend (vgl. z.B. Chappaly et al. 2025, Engels et al. 2025, Streim & Hecker 2025). Um zielgerichtet Unterstützungsangebote entwickeln zu können, bedarf es jedoch branchenspezifischer Einblicke im nationalen Markt. Aus diesem Grund werden Ergebnisse der bundesweiten ifaa-Trendstudie zum Thema Zukunftstechnologien (Feggeler et al. im Druck) mit Ergebnissen der Marktstudie des Kompetenzzentrums WIRKsam (Goertz et al. 2025) verglichen und weitere Entwicklungsbedarfe diskutiert.

2. Studienbeschreibung

Der nachfolgenden Ergebnispräsentation werden zwei Studien zu Grunde gelegt. Die erste Studie ist die ifaa-Trendstudie zum Thema Zukunftstechnologien. Sie wurde im August 2025 als bundesweite Online-Befragung durchgeführt. Mit der Akquise der Studienteilnehmenden wurde ein Paneldienstleister beauftragt. Zur Teilnahme berechtigt waren Führungskräfte aus produzierenden Unternehmen. Die Datenbereinigung erfolgte auf Grundlage des relativen Geschwindigkeitsindizes sowie durch die Identifikation von Antwortanomalien wie Straightlining.

Nach der Datenbereinigung umfasst die Stichprobe 157 Studienteilnehmende. Davon ordnen sich 21,0% der Geschäftsführung bzw. den Unternehmenseigentümern zu, während 56,1% angeben, dem mittleren Management (z.B. Abteilungsleitung) und 22,9% dem unteren Management (z.B. Meister und Meisterin) anzugehören. Die Unternehmen ordnen sich der Breite der Wirtschaftszweige zu, wobei mit 13,4% der Studienteilnehmenden ein Schwerpunkt auf der Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen liegt.

In der Stichprobe sind alle Unternehmensgrößen berücksichtigt, jedoch sind große Unternehmen mit mehr als 500 Beschäftigten mit einem Anteil von 40,9% überrepräsentiert. Die regionale Verteilung weist eine überdurchschnittliche Teilnahme von Personen aus den Bundesländern Bayern, Nordrhein-Westfalen und Berlin auf. Die Bundesländer Brandenburg und Bremen sind in der Stichprobe nicht vertreten.

Die zweite Studie stellt die Marktstudie des Kompetenzzentrum WIRKsam dar, mit der das mmb Institut – Gesellschaft für Medien- und Kompetenzforschung mbH beauftragt wurde. Zielsetzung der Studie war es die Beratungs- und Qualifizierungsbedarfe der produzierenden Unternehmen im Kontext von KI den bestehenden Angeboten im rheinischen Revier und Nachbarregionen gegenüberzustellen. Die für diesen Beitrag relevanten Qualifizierungs- und Beratungsbedarfe von Produktionsunternehmen im Rheinischen Revier wurden mittels leitfadengestützter Interviews erhoben. Für die Akquise von Studienteilnehmenden wurden 180 Unternehmen per Mail angefragt. Neun Interviews wurden im Zeitraum von November 2024 bis Februar 2025 durchgeführt. Das Sample umfasst 8 Unternehmen der Metall- und Elektroindustrie sowie eine Bildungsinstitution der Textilindustrie, in denen jeweils zwischen 15 und 200 Mitarbeitende beschäftigt sind. Interviewteilnehmende waren Geschäftsführungen oder Angestellte in Leitungspositionen (Goertz et al. 2025).

Zur Gegenüberstellung wurden 125 regionale Anbieter identifiziert und im Februar und März 2025 mittels Online-Fragebogen u.a. zu ihrem Schulungs- und Beratungsangeboten und der bestehenden Nachfrage befragt. Die Stichprobe umfasst 38 gültige Fälle. Die Fragen zur Nachfrage von Beratungs- und Qualifizierungsangeboten wurden von 26 bis 29 Befragten beantwortet. (Goertz et al. 2025) Die vollständige Marktstudie findet sich unter: https://wirksam.nrw/2025/09/10/neue-studie/

3. Ausgewählte Studienergebnisse

Ein Ziel der ifaa-Trendstudie war die Erhebung der aktuellen und geplanten Nutzung von Zukunftstechnologien. Zur Auswahl standen verschiedene Zukunftstechnologien. Im Folgenden werden nur KI-gestützte Technologien betrachtet: Generative KI. KI-Agenten oder autonome Systeme, KI-gestützte Bildverarbeitung, KI zur daten-

basierten Analyse und Prognose, Fahrerlose Transportsysteme, Humanoide Robotik

Die Befragungsergebnisse zeigen, dass 58,0% der Studienteilnehmenden in einem Unternehmen arbeiten, in dem mindestens eine der zuvor aufgeführten KI-gestützten Technologien eingeführt ist. Bei weiteren 29,9% der Befragten ist die Einführung einer derartigen Technologie geplant. Lediglich bei 9,6% der Studienteilnehmenden ist keine KI-Nutzung geplant. Größere Unterschiede zeigen sich bei der Differenzierung nach der Unternehmensgröße (s. Abbildung 1). Während 66% der Studienteilnehmenden aus großen Unternehmen mit mehr als 250 Beschäftigten angeben, dass im Unternehmen bereits eine KI-Technologie zum Einsatz kommt, sind es bei Studienteilnehmenden aus kleinen Unternehmen lediglich 21%.

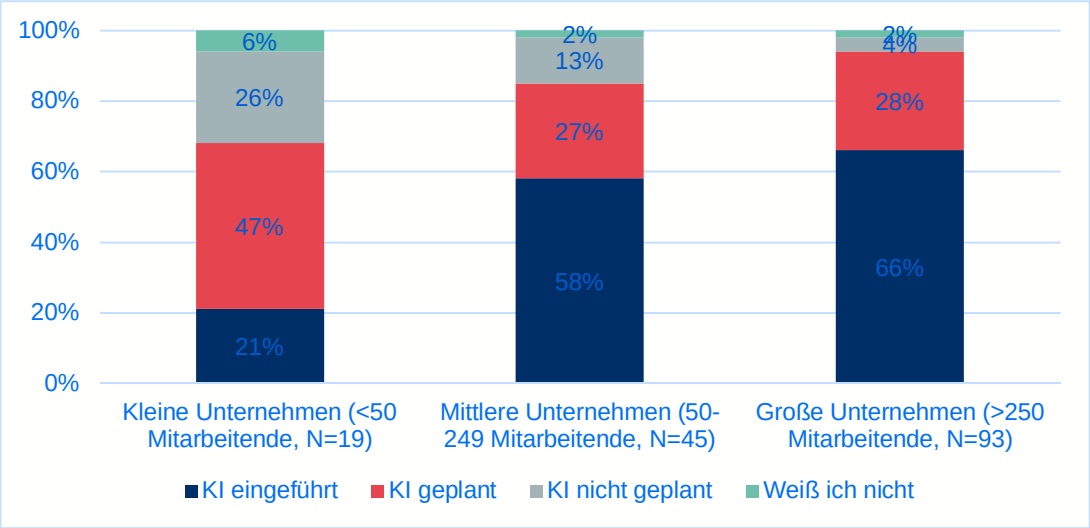


***Abbildung 1**: Nutzung mindestens einer KI-Technologie im Unternehmen in Abhängigkeit der Unternehmensgröße.*

Entsprechende Effekte verdeutlichen sich bei der Betrachtung der Verbreitung der einzelnen Technologien (s. Tabelle 1). Während 49,5% der Befragten aus großen Unternehmen angeben, dass in ihrem Unternehmen generative KI genutzt wird, geben dies lediglich 10,5% der Befragten aus kleinen Unternehmen an. Bei nahezu allen KI-Technologien weisen große Unternehmen eine deutlich höhere Nutzungsquote auf als bei kleinen Unternehmen. Einzig bei der humanoiden Robotik zeigt sich eine vergleichsweise niedrige Nutzung in allen 3 Größenbereichen von 5,3 bis 11,1%.

***Tabelle 1:** Nutzung von KI-Technologien in Abhängigkeit der Unternehmensgröße.*

	im Einsatz			Einsatz geplant		
	>250	**50-249**	**<50**	>250	50-249	<50
Generative KI	**49,5%**	**37,8%**	**10,5%**	37,6%	28,9%	52,6%
KI-Agenten oder autonome Systeme	**31,2%**	**33,3%**	**10,5%**	48,4%	40,0%	42,1%
KI-gestützte Bildverarbeitung	**35,5%**	**35,6%**	**15,8%**	38,7%	33,3%	31,6%
KI zur datenbasierten Analyse und Prognose	**35,5%**	**22,2%**	**5,3%**	43,0%	46,7%	36,8%
Fahrerlose Transportsysteme	**32,3%**	**11,1%**	**5,3%**	28,0%	20,0%	21,1%
Humanoide Robotik	**7,5%**	**11,1%**	**5,3%**	36,6%	28,9%	21,1%

Während sich im Vergleich zwischen den Unternehmensgrößen bei der Bewertung des Digitalisierungsstands – im Mittel wird dieser mit der Schulnote 4+ bewertet - keine berichtenswerten Unterschiede zeigen, werden bei der Bewertung der Akzeptanz von KI-Lösungen in KMU wesentlich niedrigere Akzeptanzniveaus erreicht. Mehr als ein

Viertel der Befragten aus kleinen Unternehmen stufen die Akzeptanz als niedrig bzw. sehr niedrig ein (Vgl. Abbildung 2). Zeitgleich ist festzuhalten, dass die wahrgenommene Akzeptanz von KI in Unternehmen mit bereits etabliertem KI-Einsatz überwiegend hoch ist, bei Unternehmen mit geplantem Einsatz deutlich verhaltener ausfällt und in Unternehmen ohne KI-Pläne mehrheitlich als niedrig bis sehr niedrig bewertet wird.

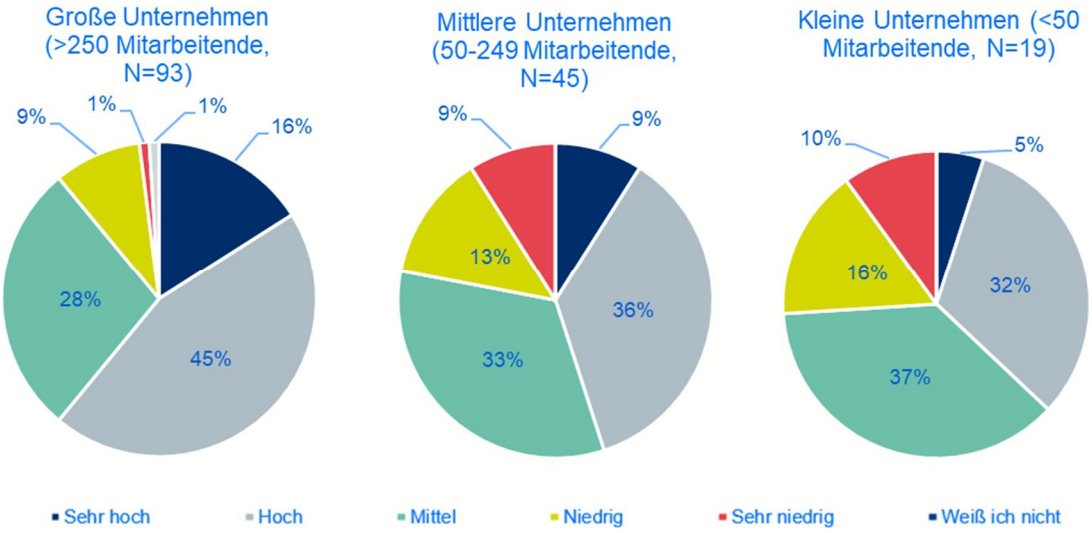


***Abbildung 2**: Bewertung der Akzeptanz zur Nutzung von KI in Abhängigkeit der Unternehmensgröße (Feggeler et al. im Druck).*

Während lediglich 2% der Befragten aus Großunternehmen angeben, dass der Einsatz mit KI mehr Risiken als Chancen birgt, vertreten diese Aussage 11% der Befragten aus mittleren Unternehmen und gar 26% der Befragten aus kleinen Unternehmen (Feggeler et al. im Druck).

Eine vergleichsweise niedrige Verbreitung KI-gestützter Zukunftstechnologien weist ebenso die Stichprobe der Marktanalyse im Rheinischen Revier auf. Lediglich in drei von zehn kleinen bzw. mittleren Unternehmen werden Systeme, die auf großen Sprachmodellen basieren, verwendet. Systeme für die KI-gestützte Bildverarbeitung bzw. zur datenbasierten Analyse und Prognose sind in einzelnen Unternehmen in der Erprobung bzw. in der Planung. Bei den Unterstützungsangeboten geben fünf Unternehmensvertretende an, Unterstützung bei Fördermöglichkeiten zu haben, vier Interviewteilnehmende formulierten Bedarfe bei der Umsetzung von Teilautomatisierungen und drei Befragte äußerten Unterstützungsbedarf bei der Optimierung von Geschäftsprozessen. Schulungsbedarfe wurden insbesondere bei der Vermittlung von Grundlagen zum Thema KI und der Anwendung spezifischer KI-Systeme (5 Nennungen) benannt. (Goertz et al. 2025)

Die Befragung der Anbieter von digitalisierungs- und KI-bezogenen Beratungsdienstleistungen ergab eine hohe Nachfrage bei folgenden Themen: Optimierung von Geschäftsprozessen (64,3%), Schulungen und Wissenstransfer (48,3%) sowie technische Entwicklung und Implementierung digitaler Technologien (48,3%). Bei weiteren arbeitswissenschaftlichen Themenschwerpunkten ist die Nachfrage geringer: In 27,6% der Fälle ist die Nachfrage von Unterstützungsangeboten zum Thema Arbeitsorganisation und Arbeitsplatzgestaltung sowie Mensch-Technik-Interaktion hoch; in 20,7% der Fälle wird beim Thema Organisationsentwicklung und Change-Management eine hohe Nachfrage

angegeben. Beratungsangebote zum Thema Technologietrends unterliegen bei 44,4% der Befragten einer geringen Nachfrage. (Goertz et al. 2025)

Bei digitalisierungs- und KI-bezogenen Qualifizierungsangeboten wird eine hohe Nachfrage bei folgenden Themen zurückgemeldet: Optimierung von Geschäftsprozessen (51,9%), Arbeitsorganisation und Arbeitsplatzgestaltung / Mensch-Technik-Interaktion (38,5%) sowie Organisationsentwicklung und Change-Management (37%). Die Themen technische Entwicklung / Implementierung digitaler Technologien und Datenmanagement und Analyse werden von 33,3% bzw. 18,5% der Anbietenden mit einer hohen Nachfrage bewertet, werden aber jeweils von 25,9% der Befragten in den jeweiligen Unternehmen nicht angeboten. (Goertz et al. 2025)

4. Diskussion

Wenngleich beide referenzierten Studien keine repräsentativen Stichproben aufweisen, lassen sich basierend auf der Kombination der Analyseergebnisse durchaus Rückschlüsse auf die Gesamtheit schließen: Die Verbreitung KI-gestützter Systeme nimmt zu. Im Vergleich zur 2022 durchgeführten ifaa-Studie „Künstliche Intelligenz in produzierenden Unternehmen“ (s. z. B, Harlacher et al. 2023, Harlacher & Terstegen 2023, Peifer & Shahinfar 2023) ist der Anteil der Personen, die in einem Unternehmen arbeiten, welches mindestens ein KI-System eingeführt hat, um mehr als 20% höher. Der in der zuvor angeführten Studie identifizierte Vorsprung großer Unternehmen hinsichtlich der Nutzung von KI-gestützten Systemen, bestätigt sich auch in der aktuellen ifaa-Trendstudie, wobei insbesondere kleine Unternehmen mit weniger als 50 Beschäftigten eine deutlich niedrigere Nutzung aufweisen. Mögliche Ursachen können z. B. in der limitierten Verfügbarkeit von fachlichen und personellen Ressourcen für die Auswahl und Umsetzung relevanter Use Cases sein (s. Goertz et al. 2025), aber auch in begrenzten finanziellen Möglichkeiten und der geringeren Skalierbarkeit von KI-Lösungen im eigenen Unternehmen und der damit verbundenen geringeren Rentabilität. Die in der ifaa-Trendstudie identifizierte überdurchschnittliche Wahrnehmung von KI als Risiko und die vergleichsweise geringe Akzeptanz von KI können Hemmnisse der KI-Einführung in Unternehmen darstellen. Dies verdeutlicht die Relevanz grundständiger KI-Schulungsangebote, die zielgruppengerecht über Funktionsweise, Möglichkeiten und Risiken von KI im betrieblichen Kontext aufklären. Die in WIRKsam sowie weiteren Kompetenzzentren der Arbeitsforschung entwickelten Angebote adressieren diese Bedarfe dabei sehr gut. Die Anbieteranalyse der WIRKsam-Marktanalyse zeigt auf, dass sich alleine für das rheinische Revier eine Vielzahl von 125 Dienstleistungsanbietern auf das Thema KI spezialisiert hat und dabei auch arbeitsgestalterischen Fragestellungen in Beratungs- und Qualifizierungsangeboten abdeckt. Neue Anbieter – wie die oben genannten Kompetenzzentren – benötigen ein attraktives Alleinstellungsmerkmal und ein gutes Transfernetzwerk, um ihre Leistungsangebote zielgerichtet in die Unternehmen zu bekommen. Das Leistungsangebot muss kontinuierlich an die technologischen Weiterentwicklungen angepasst werden, um ein attraktives Angebot aufweisen zu können. Als Auswahlkriterien für Anbieter erheben Goertz et al. (2025), dass ihre Dienstleistungen durch branchenspezifische Expertise, persönliche und möglichst regionale Umsetzung, ein breit diversifiziertes „One-Stop-Shop“-Portfolio und eine betriebsindividuelle, praxisorientierte Anpassung gekennzeichnet sind.

5. Fazit

Künstliche Intelligenz hat insbesondere mit Systemen, die auf großen Sprachmodellen basieren, die betriebliche Praxis erreicht. Insbesondere kleine Unternehmen nutzen diese Technologie jedoch deutlich seltener große Unternehmen. Zukünftige Beratungs- und Schulungsangebote sollten daher insbesondere auf die Bedarfe von kleinen und mittleren Unternehmen zugeschnitten werden und Wissen über KI und ihre Potenziale in die Breite der Unternehmen bringen und so die Verbreitung der Technologie und die Akzeptanz für ihre Nutzung steigern. Die Anzahl an Anbietern von digitalisierungs- und KI-bezogenen Beratungs- und Schulungsanbietern erweist sich als hoch. Arbeitswissenschaftliche Themenfelder werden dabei von einem Großteil der Anbieter abgedeckt. Die Leistungsangebote neuer Anbieter müssen daher relevante Alleinstellungsmerkmale sowie eine hohe Bedarfsorientierung aufweisen und über stabile Transfernetzwerke verfügen.

6. Literatur

Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (BNetzA) (2025) KI in Unternehmen. Bonn: 5

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (2025) Künstliche Intelligenz – Ziele und ausgewählte Flaggschiff-Maßnahmen. https://www.bmftr.bund.de/DE/Technologie/ Hightech Agenda/DossierHightechAgenda/Dossier_HightechAgenda/_documents/1_k%C3%BCnstliche_intelligenz.html?nn=1104712&utm_source=chatgpt.com Zugegriffen: 23.12.2025

Bringmann B, Fach P, Becker S J, Schamberger M, Wendland P (2025) Now decides next: Generating a new future. Deloitte

Challapally A, Pease C, Raskar R, Chari P (2025) The GenAI Divide – State of AI in Business 2025. MIT

Engels B, Scheufen M, Schmitz E (2025) Künstliche Intelligenz als Wettbewerbsfaktor für die deutsche Wirtschaft – Empirische Befunde und Handlungsempfehlungen zum Einsatz von KI in deutschen Unternehmen, In; Institut der deutschen Wirtschaft (Hrsg.) IW -Report 22/2025

Feggeler N, Harlacher M, Link J, Jeske T (im Druck) ifaa-Trendstudie Zukunftstechnologien. In: Stowasser (Hrsg.) ifaa-Trendstudie

Goertz, L Hähn, K, Fritsch P (2025) Zwischen Potential und Praxis: Künstliche Intelligenz in der Arbeitswelt von Morgen - Bedarfs- und Marktanalyse zu Beratung und Weiterbildung produzierender Unternehmen im Rheinischen Revier

Harlacher, M, Feggeler, N, Peifer, Y, Ottersböck, N (2023) Produzierendes Gewerbe auf internationalem Niveau: Ergebnisse der Online-Befragung zum Thema „Künstliche Intelligenz in produzierenden Unternehmen“. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Vol. 118 (Issue 3), pp. 173-177. https://doi.org/10.1515/zwf-2023-1012

Harlacher M, Terstegen S (2023) KI in der Industrie: Potenziale und Hindernisse. Human Resources Manager 3(2023):56-59

Peifer Y, Shahinfar F (2023) Erwartungen an Künstliche Intelligenz im betrieblichen Alltag. In: Stowasser S (Hrsg) Künstliche Intelligenz (KI) und Arbeit. ifaa-Edition. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, S 17–25. https://doi.org/10.1007/978-3-662-67912-8_2

Streim A, Hecker J (2025) Durchbruch bei Künstlicher Intelligenz Durchbruch bei Künstlicher Intelligenz | Presseinformation | Bitkom e. V.

Danksagung: Der Beitrag ist im Projekt „Kompetenzzentrum WIRKsam“ (FKZ: 02L19C600) entstanden; es wird im Rahmen der Fördermaßnahme „Regionale Kompetenzzentren der Arbeitsforschung“ vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für diesen Beitrag liegt bei den Autoren.

Wissen in produzierenden Unternehmen KI-gestützt sichern und transferieren – Erkenntnisse aus dem Projekt WIRKsam

Lorena NIEBUHR-HAAK, Nils FEGGELER, Markus HARLACHER, Eva HANAU

Ifaa - Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V.
Uerdinger Straße 56, D-40474 Düsseldorf

Kurzfassung: Dieser Beitrag untersucht die arbeitswissenschaftlichen Implikationen der KI-gestützten Sicherung und Weitergabe von Erfahrungswissen in Produktionsprozessen. Mittels Arbeitssystemanalysen und ergänzender Interviews mit Projektverantwortlichen aus den Anwendungsunternehmen werden Handlungsbedarfe, Veränderungen im Arbeitssystem und Anforderungen an Kompetenzen identifiziert. Die Analyse zeigt, dass KI-Systeme Erfahrungswissen sichern, Entscheidungsprozesse transparenter machen und organisationalles Lernen fördern. Gleichzeitig stärken sie die fachlichen und kognitiven Kompetenzen der Beschäftigten, wobei technologische, organisatorische und soziale Maßnahmen kombiniert werden müssen, um einen nachhaltigen Wissenstransfer zu gewährleisten.

Schlüsselwörter: Wissensmanagement, Künstliche Intelligenz, Arbeitssystemanalyse, Digitale Assistenzsysteme, Erfahrungswissen

1. Einleitung

Der demografische Wandel und der anhaltende Fachkräftemangel stellen Unternehmen vor die dringende Notwendigkeit, Fach- und insbesondere Erfahrungswissen effizient zu sichern und weiterzugeben. Eine besondere Herausforderung ist die Wissensweitergabe auf dem Shopfloor, wo ein hoher Grad an implizitem, personengebundenem Wissen über spezifische Maschinen und Prozesse existiert. Bisherige Ansätze des Wissensmanagements scheiterten hier oft an der nur verlustbehafteten Übertragbarkeit dieses Wissens (Ottersböck et al. 2023).

Vor diesem Hintergrund setzt das Kompetenzzentrum WIRKsam an, um die Potenziale der Künstlichen Intelligenz (KI) für Unternehmen zu erschließen und innovative Arbeits- und Prozessstrukturen zu gestalten. Schwerpunkte sind die Sicherung und der Transfer von Wissen. KI-Systeme übernehmen hierbei eine Schlüsselrolle bei der Systematisierung und Explizierung von Wissen, das häufig nur implizit vorliegt. Ziel ist die Weiterentwicklung des Wissensmanagements, indem KI-gestützte Assistenzsysteme das Wissen der Beschäftigten systematisch erfassen und zugänglich machen.

Um die arbeitswissenschaftlichen Implikationen der Integration dieser KI-gestützten Systeme im Projekt mit Fokus auf das Wissensmanagement zu bewerten, werden in diesem Beitrag folgende zentrale Forschungsfragen gestellt:

- Welche arbeitswissenschaftlichen Handlungsbedarfe im Hinblick auf die KI-gestützte Sicherung und Weitergabe von Erfahrungswissen ließen sich zu Projektbeginn in den Anwendungsfällen identifizieren?
- Welche Veränderungen ergeben sich durch bereits umgesetzte Projektaktivitäten zum Analysezeitpunkt?

- Welche Kompetenzen sollen Beschäftigte, die mit KI-Systemen arbeiten laut Projektverantwortlichen aus den Anwendungsunternehmen mitbringen?

Der Beitrag gliedert sich wie folgt: Zunächst werden die theoretischen Grundlagen von KI-Systemen und Wissensmanagement (Kapitel 2) dargelegt. In Kapitel 3 wird die Methodik beschrieben. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse der Arbeitssystemanalyse und der qualitativen Interviews dargestellt. Abschließend werden die Ergebnisse in Kapitel 5 diskutiert. Der Beitrag schließt mit einem Fazit (Kapitel 6).

2. Theoretische Grundlagen

Eine besondere Herausforderung im Wissensmanagement besteht darin, implizites Erfahrungswissen zu erfassen und weiterzugeben. Zentral wird zwischen explizitem Wissen (formal, artikulierbar) und dem impliziten Wissen (persönlich, schwer kommunizierbar) differenziert (Probst et al. 2012).

Darauf aufbauend beschreiben Nonaka und Takeuchi (1995) in ihrem SECI-Modell (Socialization, Externalization, Combination, Internalization) den dynamischen Prozess der Wissensumwandlung (Wissensspirale) in Organisationen. Die Überführung von implizitem in explizites Wissen (Externalisierung) stellt einen kritischen Schritt dar, der auch durch die hier untersuchten KI-Systeme adressiert werden soll. Die moderne Literatur zum Wissensmanagement betont die Notwendigkeit, klassische Methoden mit neuen Technologien zu kombinieren, um die Verfügbarkeit von Wissen als strategischer Ressource zu sichern (Bünnagel 2024). Dabei können KI-Systeme das Wissensmanagement revolutionieren, indem sie die Grenzen traditioneller Methoden überwinden (Ottersböck et al. 2023). Insbesondere die Systematisierung, semantische Erschließung und (Echtzeit-)Bereitstellung von Daten und Erfahrungswissen stehen im Fokus aktueller Entwicklungen (u. a. Ottersböck & Niebuhr 2026). Besonders bedeutsam ist hierbei die Gestaltung KI-gestützter Assistenzsysteme im Shopfloor-Bereich. Der Mehrwert liegt in der Schaffung einer Mensch-KI-Kollaboration, bei der die KI vorhandenes Erfahrungswissen expliziert und die Beschäftigten in operativen Prozessen, z. B. durch Vorschläge für die Wahl von optimierten Maschinenparametern, unterstützt. Die Literatur adressiert hierbei sowohl die technologischen Möglichkeiten zur Wissensextraktion als auch die arbeitsorganisatorischen Implikationen (z. B. Bünnagel 2024, Ottersböck & Niebuhr-Haak 2026).

3. Methodisches Design

Die Arbeitssystemanalyse basiert auf der systematischen Erfassung, Beschreibung und Bewertung aller Komponenten eines Arbeitssystems. Ein Arbeitssystem wird dabei als ein Wirkungsgefüge aus den Elementen Mensch, Arbeitsmittel, Arbeitsgegenstand, Arbeitsaufgabe und Umgebungseinflüssen betrachtet (REFA Bundesverband e.V. 2016). Ziel ist es, die Interdependenzen dieser Elemente zu verstehen, um Potenziale für eine optimierte und bedürfnisgerechte Arbeitsgestaltung zu identifizieren. Im Kontext der Einführung neuer Technologien, wie KI-gestützter Assistenzsysteme, ermöglicht die Analyse eine fundierte Anforderungsableitung sowie einen objektiven Soll-Ist-Vergleich des Arbeitssystems Dadurch liefert sie eine entscheidende empirische Basis zur Evaluierung der tatsächlichen Auswirkungen

technologieinduzierter Maßnahmen auf Aspekte wie Wissenssicherung oder Kompetenzentwicklung.

Das genutzte Arbeitssystemanalyse-Tool bietet die Möglichkeit, Einflüsse der KI-Systeme auf das Arbeitssystem abzuleiten (Niehues et al. 2024). Es besteht aus den Oberkategorien: Arbeitsinhalt, Arbeitsorganisation, Soziale Beziehungen, Arbeitszeit, Arbeitsumgebung (Harlacher & Feggeler 2025). Die Arbeitssystemanalyse wurde durch Experten aus dem Bereich Arbeitswissenschaft entwickelt und in den Anwendungsunternehmen des Projekts durchgeführt. Der Zeitpunkt der Durchführung (März 2023 bis November 2025) differierte abhängig vom Projektfortschritt im jeweiligen Anwendungsunternehmen.

Für die Analyse der Auswirkungen der KI-Systeme auf die Themen Wissen und Kompetenzentwicklung haben fünf arbeitswissenschaftliche Experten die Relevanz aller Items der Arbeitssystemanalyse speziell für diese Themen bewertet. Ergebnis dieser Bewertung sind 20 Items, die von mindestens 3 Experten als relevant bewertet und für die Analyse herangezogen wurden. Diese zwanzig Items wurden qualitativ ausgewertet.

Die Ergebnisse der Arbeitssystemanalyse wurden durch Ergebnisse aus teilstrukturierten Leitfadeninterviews mit Projektverantwortlichen aus den Anwendungsunternehmen ergänzt. Hierzu wurden im Jahr 2024 Leitfadeninterviews mit KI-Enablern, Projektverantwortlichen und Anwendungsunternehmen geführt. Die Interviews hatten eine Länge von 50-70 Minuten. Für diesen Beitrag werden nur Aussagen berücksichtigt, die Anforderungen an die (zukünftigen) Kompetenzen der Beschäftigten, die KI-Systeme nutzen, enthalten. Diese wurden qualitativ nach Kuckartz und Rädiker (2024) ausgewertet.

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Arbeitssystemanalyse für das Themenfeld Wissen

Bei der Maschinennutzung treffen Beschäftigte Entscheidungen häufig ohne vollständig verlässliche Sachinformationen, da viele Entscheidungen erfahrungsbasiert erfolgen. Abrufbare Parameter sind vorhanden, werden aber überwiegend visuell oder auditiv aufgenommen, was die Sicherheit der Entscheidungen einschränkt. Die Arbeitssystemanalyse zeigt, dass Rückmeldungen zu Arbeitsergebnissen teils unvollständig und oft manuell oder über Kollegen zu ermitteln sind. Arbeitsabläufe sind transparent, soziale Unterstützung ist vorhanden, und Einarbeitung sowie Weiterbildung teilweise strukturiert, werden meist „on-the-job“ durchgeführt. Die KI-Systeme können hier unterstützen, in dem sie Daten aufbereiten, Handlungsempfehlungen geben, Rückmeldungen automatisieren, die erfahrenen Beschäftigten entlasten sowie den Wissensaustausch fördern.

Relevante Prozessparameter und vor allem deren Wechselwirkungen sind in einigen Anwendungsfälle bislang nur unzureichend bekannt, was sich darin zeigt, dass Maschinen unter den jeweiligen aktuellen Prozessbedingungen nach dem Bauchgefühl feinjustiert werden. Durch systematische Datenerfassung und KI-gestützte Analysen können Transparenz geschaffen, Zusammenhänge identifiziert und Entscheidungen für die Einstellung der Maschinen abgesichert werden. Sensortechnik und KI ermöglichen eine fundiertere Abschätzung der Produktqualität und eine Optimierung von Arbeitsschritten während des Prozesses.

In dem Bereich der Produktionsplanung fehlen teils systematisch erfasste

Absatzinformationen. Entscheidungen, die durch die Planenden getätigt werden, basieren auf historischen Daten oder Bauchgefühl. Die Ergebnisse werden teils nur verzögert rückgemeldet. Hier bietet KI einen Mehrwert, indem sie historische Daten systematisiert aufbereitet und basierend darauf aktuelle prädiktive Unterstützung in Form optimierter Auftragsreihenfolgen gibt.

Die für den direkten persönlichen Wissenstransfer notwendigen Kommunikations- und Kooperationsmöglichkeiten bleiben auch bei der Einführung von KI-gestützten Systemen bestehen. Eine Top-Down-Steuerung durch KI oder die Berücksichtigung von Optimierungsvorschlägen der KI kann jedoch die sozialen Interaktionen beeinträchtigen, sodass die soziotechnische Gestaltung entscheidend ist. Insgesamt kann KI in der Planung Entscheidungen absichern, die Transparenz erhöhen und Planungs- sowie Lernprozesse unterstützen, ohne die grundlegende Arbeitsorganisation zu verändern.

In der Qualitätskontrolle, liegen laut Arbeitssystemanalyse ausreichend und zielgerichtet aufbereitete Informationen vor. Entscheidungen können sachgerecht getroffen werden, Abläufe sind transparent und Arbeitsergebnisse lassen sich unmittelbar überprüfen oder durch etablierte Kontrollmechanismen erkennen. Rückmeldungen, Kommunikation und soziale Unterstützung funktionieren zuverlässig; Qualifikations- sowie Weiterbildungsmaßnahmen sind etabliert. Die Ist-Situation ist durch hohe Informationsverfügbarkeit, transparente Prozesse und stabile soziale Strukturen gekennzeichnet.

4.2 Anforderungen an die Kompetenzen der KI-nutzenden Beschäftigten

In den Interviews, mit Projektverantwortlichen der Anwendungsunternehmen und der Forschungspartner, wurden Anforderungen an die Kompetenzen der Beschäftigten identifiziert, die mit KI-Systemen arbeiten. Beschäftigte benötigen phasenübergreifend Grundkenntnisse über Merkmale, Fähigkeiten, Potenziale, Grenzen und Risiken von KI sowie deren Einsatz als Assistenzsysteme im Arbeitsprozess (siehe Tabelle 1). Wesentliche Voraussetzungen sind Lern- und Entwicklungsbereitschaft, digitale Kompetenzen, Offenheit für Veränderungen, Flexibilität und Motivation.

Tabelle 1: *Anforderungen an die Kompetenzen der Beschäftigten im Umgang mit KI.*

Phase der KI-Einführung	**Kompetenzen**
Phasenübergreifend	• Grundkenntnisse über Merkmale, Fähigkeiten, Grenzen und Risiken von KI • Grundkenntnisse über Potenziale von KI als Werkzeug • Lernbereitschaft und Offenheit für Veränderungen
Planen und Informieren	• Analytische und kommunikative Kompetenzen um bei Identifikation von KI-Anwendungsfällen mitzuwirken
Umsetzen	• Grundverständnis über Zweck von Prozessveränderungen und Arbeitsschritten (z.B. Datenerfassung)
Kontrollieren und Bewerten	• Daten und Ergebnisse auslesen und für eigene Arbeitsaufgaben Rückschlüsse ziehen • Qualität und Relevanz der Ergebnisse bewerten können

In der Phase des Planens und Informierens den Unternehmen sind analytische und kommunikative Kompetenzen erforderlich, um vorhandenes Unternehmenswissen zu erfassen und zu verstehen sowie intern und extern verständlich zu vermitteln.

Während der Umsetzung müssen Beschäftigte die Integration neuer Technologien in bestehende Arbeits- und Geschäftsprozesse verstehen, den Zweck von Prozess-veränderungen nachvollziehen und neue Arbeitsweisen aktiv unterstützen. In dieser Phase ist also ein Grundverständnis über den Zweck von Prozess-veränderungen und Arbeitsschritte erforderlich. Für die Kontrolle und Bewertung sind Fähigkeiten notwendig, um Daten auszulesen, Ergebnisse der KI-Systeme kritisch zu bewerten und Rückschlüsse für die eigene Arbeit zu ziehen.

5. Diskussion

Die Ergebnisse der Arbeitssystemanalyse zeigen ein differenziertes Bild hinsichtlich Informationsverfügbarkeit, Entscheidungsgrundlagen und sozialer Strukturen. In Produktionsbereichen mit direkter Maschinennutzung bestehen Informationslücken: Viele Entscheidungen zur Feinjustierung von Maschinen und Anlagen basieren auf Erfahrung und Bauchgefühl der Beschäftigten, Rückmeldungen zu Arbeitsergebnissen sind häufig verspätet. Durch KI-Systeme in Form einer Einstellhilfe für Maschinen können diese Einstellungen und die Vielzahl an (äußeren) Parametern die diese beeinfluss sichtbar und nachvollziehbar gemacht werden. Das Wissen der erfahrenen Beschäftigten wird systematisch gesichert und neuere Beschäftigte können Einstellungen besser nachvollziehen und können so auch schneller lernen.

Planungsbereiche verfügen hingegen über ein hohes Maß an standardisierten Prozessen, hohe Informationsverfügbarkeit, transparente Abläufe und etablierte Kommunikationsstrukturen, wobei dennoch Verbesserungen im Wissensmanagement möglich sind. KI-Systeme bei Maschinennutzung und Produktionsplanung können historische und aktuelle Daten zusammenführen, Muster erkennen und Empfehlungen bereitstellen. Echtzeitinformationen reduzieren Unsicherheiten, verbessern die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen und ermöglichen konsistente Rückmeldungen. Insbesondere in Bereichen mit bisher unzureichender Informationsversorgung fungieren sie als Wissensspeicher und fördern das organisationale Lernen.

Die Kompetenzentwicklung der Beschäftigten kann durch den Einsatz von KI gefördert werden. Entscheidungshilfen ermöglichen ein besseres Verständnis komplexer Prozesszusammenhänge, liefern unmittelbares Feedback. Gleichzeitig entstehen neue Anforderungen an die Bewertung von KI-Empfehlungen, wodurch analytisches Denken gestärkt werden. Der begleitende Austausch zwischen Beschäftigten, Kollegen und Führungskräften sollte weiter gestärkt werden. Risiken bestehen, wenn eine starke Steuerung über KI-Systeme die sozialen Interaktionen und Kooperationsstrukturen reduzieren. KI sollte nicht als stille Autorität wahrgenommen werden. Eine soziotechnische Gestaltung ist entscheidend, um KI als Ergänzung im Wissensmanagement zu implementieren, ohne bestehende soziale Prozesse zu beeinträchtigen. KI-Systeme, Arbeitsaufgaben und organisatorische Strukturen sind so zu gestalten, dass gemeinsame Reflexionsformate (z. B. KI-Review-Runden) und dialogische Mensch-KI-Interaktion (z. B. integrierte Feedbackfunktion zu KI-Empfehlungen) gezielt erhalten werden.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass KI-Systeme Wissen erfassen, verfügbar machen und nachvollziehbar gestalten sowie die fachliche und methodische Kompetenz der Beschäftigten fördern können. Entscheidend ist die Kombination technologischer Möglichkeiten mit organisatorischen, sozialen und didaktischen Maßnahmen, um Lernprozesse und Partizipation aktiv zu unterstützen.

6. Fazit

KI-gestützte Systeme leisten einen zentralen Beitrag zur Sicherung und Weitergabe von Erfahrungswissen in produzierenden Unternehmen, indem sie Entscheidungsprozesse transparenter machen, organisationales Lernen fördern und die fachlichen sowie kognitiven Kompetenzen der Beschäftigten stärken. Besonders in Bereichen mit unzureichender Informationsversorgung fungieren KI-Systeme als Wissensspeicher und ermöglichen fundiertere Entscheidungen. Für eine erfolgreiche Implementierung ist entscheidend, technologische Möglichkeiten mit organisatorischen, sozialen und didaktischen Maßnahmen zu kombinieren, um Lernprozesse, Partizipation und nachhaltigen Wissenstransfer aktiv zu unterstützen, ohne bestehende soziale Strukturen zu beeinträchtigen.

7. Literatur

Bünnagel W (2024). Künstliche Intelligenz und Unternehmenswissen: Betriebliches Wissensmanagement auf morgen ausrichten. Springer Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-68779-6.

Harlacher M, Feggeler N (2025) Prototypisches Assistenzsystem für die iterative Arbeitssystemanalyse. In GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2025, Aachen.

Kuckarzt U, Rädiker S, (2024) Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Umsetzung mit Software und künstlicher Intelligenz. Beltz Juventa, Weinheim.

Niehues S, Shahinfar F, Harlacher M, Sandrock S (2024) Identification of Required Actions in the Process of Work Design – Developed Method for a Criteria-based Work System Analysis. In: Procedia Computer Science, Volume 232, 2024, Pages 513-522, ISSN 1877-0509, https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.05.

Nonaka I, Takeuchi, H (1995) The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation. Oxford University Press.

Ottersböck N, Prange C, Rusch T, Dander H (2023). Entlastung von Beschäftigten in komplexen Produktionsumgebungen durch informatorische, KI-basierte Assistenztechnologien – Erfahrungswissen ermitteln, erhalten, transferieren und Prozesse optimieren. AI:MAG – The World of Tomorrow, 01/2023, 27–28.

Ottersböck N, Niebuhr-Haak L (2026) Künstliche Intelligenz revolutioniert das Wissensmanagement – Erfahrungswissen identifizieren und sichern mit KI. In: Personal entwickeln. Wolters Kluwer. (Im Druck)

Polanyi, M. (1966). The tacit dimension. Routledge & Kegan Paul.

Probst G, Raub S, Romhardt K (2012). Wissen managen: Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen (6. Aufl.). Springer Gabler.

REFA Bundesverband e.V. (2016). REFA Kompakt-Grundausbildung 2.0 Das Basis-Know-how in Industrial Engineering 2., überarb. Ausg., Bd. REFA Fachbuchreihe Industrial Engineering. Darmstadt.

Förderhinweis: Der Beitrag ist im Projekt „Kompetenzzentrum WIRKsam“ (FKZ: 02L19C600) entstanden; es wird im Rahmen der Fördermaßnahme „Regionale Kom-petenzzentren der Arbeitsforschung“ vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für diesen Beitrag liegt bei den Autor*innen.

Der Blick auf den Blick: Zur Analyse von Arbeitssystemen mit Eyetracking im Kompetenzzentrum WIRKsam

Vivien PÜTZ, Florian BERLIN

Institut für Textiltechnik, RWTH Aachen University
Otto-Blumenthal-Straße 1, D-52074 Aachen

Kurzfassung: Wie kann Eyetracking (ET) zur Analyse von Arbeitssystemen (AS) angewandt werden? Eine Antwort kann unser Pretest-Konzept liefern. Der Pretest besteht aus einem Pre-Interview, welches zugleich zur Gewöhnung an den Eyetracker dient, gefolgt von räumlich distanzierten parallelen Beobachtungen des Live-ETs und des Verhaltens der Mitarbeitenden während der Nutzung des AS. Abschließend folgt das Post-Interview auf Basis aller Beobachtungen. Diese Triangulation ist wegen der Kontextsensibilität der ET-Daten notwendig und kann das Potenzial von ET für die Gestaltung menschengerechter AS freisetzen.

Schlüsselwörter: Eyetracking, Arbeitssystemtest, Pretest, Methodologie, soziotechnische Systemgestaltung

1. Einleitung

Um im Kompetenzzentrum WIRKsam einen Arbeitssystemtest (AST), der das gesamte soziotechnische System einfangen soll, so wenig invasiv wie möglich durchzuführen und trotzdem eine hohe Informationsdichte zu erhalten, wird ein mobiler Eyetracker eingesetzt. Im Gegensatz zu stationären Eyetrackern, die vornehmlich in anderen Disziplinen Anwendung finden und die nur einen einzelnen Teil des Arbeitsprozesses erfassen, existieren für unsere Zielsetzung, also der Analyse des gesamten soziotechnischen AS, kaum Konzepte oder Handreichungen. Um diese Lücke zu füllen, haben wir ein Pretest-Konzept entwickelt und umgesetzt. Es zeigt, inwiefern das Eyetracking (ET) als Methode sinnvoll das Konzept des AST erweitern kann und liefert eine Methodologie für die Durchführung, Beobachtung und Analyse des ET. Die Umsetzung hat gezeigt, dass ET gewinnbringend in den AST integriert werden kann. In diesem Beitrag wird der durch den Pretest aufgezeigte Mehrwert sowie Hinweise zur Einbindung des ET genauer erläutert.

Beim AST wird nach Altepost et al. und Hansen-Ampah et al. in diesem Konferenzband die gesamte soziotechnische Konstellation mit ethnografischen Methoden erfasst und untersucht, während soziotechnische Interaktionen erfolgen. Dafür werden sozialwissenschaftliche Methoden, darunter Befragung und Beobachtung, mit technisch generierten Daten verbunden. Zur Untersuchung des AS wird den Mitarbeitenden eine Aufgabe gegeben, mit denen sie möglichst vertraut sind, nur dass diese mit dem neuen System erfüllt werden soll.

Im vorangegangenen Projekt SozioTex wurde für den AST u. a. auf das Filmen der Mitarbeitenden zurückgegriffen, um das gesamte AS erfassen zu können (Altepost et al., 2021). Da die Kameras, die stationär aufgestellt wurden, nicht alles einfingen, wurden GoPro-Kameras für sog. “over the shoulder”-Aufnahmen verwendet. Aus methodologischer Sicht kann dieser Aufbau jedoch zu Verzerrungen durch das Beobachtungsgefühl oder schlicht der räumlichen Nähe des Filmenden führen (Mayo, 1930).

Diesen Schwächen möchten wir in unserem Pretest-Konzept mit einem mobilen Eyetracker begegnen, durch den weniger invasiv der vollständige Arbeitsprozess in einer dynamischen Umgebung analysiert werden kann. Gleichzeitig wird ein präziseres Bild aus der Perspektive der Mitarbeitenden erhoben, da nicht nur die Egoperspektive gefilmt wird, sondern auch der genaue Blick inklusive der Kontexte und Wahrnehmung.

Da die Literatur zu mobilen Eyetrackern, insbesondere zu methodologischen Implikationen und zur Anwendung in dynamischen Arbeitskontexten, bislang unzureichend ist, fehlen reflektierte Anwendungshinweise. Dieser Beitrag schließt die Lücke, indem er ein Pretest-Konzept als methodologischen Anhaltspunkt vorstellt, bei dem das ET zur Analyse soziotechnischer AS mit Interviews und Teilnehmendenbeobachtung trianguliert wird. Jenes Konzept wurde im Rahmen des Kompetenzzentrums WIRKsam bereits als Anhaltspunkt genommen und auf die spezifischen Use-Cases zugeschnitten, wie bei Hansen-Ampah et al. in diesem Konferenzband deutlich wird.

2. Eyetracking als Methode

Mithilfe von ET werden Blickdaten erhoben und in Bezug zum Gesehenen gesetzt. Unter Blickdaten fallen Metriken wie Fixationen, Sakkaden, Scanpfade und Pupillendurchmesser. Fixationen sind Fokuspunkte, auf die geblickt wurde. Sakkaden sind rasche Bewegungen des Blicks zwischen den Fixationen. Scanpfade sind die sich aus Fixationen und Sakkaden ergebenden Sequenzen des Blicks. Diese Metriken können mit kognitiven Prozessen in Verbindung gebracht und somit interpretierbar gemacht werden, z. B. kann eine längere Fixationsdauer auf Schwierigkeiten bei der Extraktion von Informationen hindeuten (Just & Carpenter, 1976). Im Falle von mobilem ET wird zusätzlich zur Aufnahme der Augen auch die Umgebung audiovisuell aus der Egoperspektive des Akteurs aufgenommen. Die Blickdaten werden dann auf die Egoperspektivenansicht übertragen, sodass sich für die Beobachtenden ein Gesamtbild daraus ergibt. In anschließenden Analysen können erfasste Blickdaten in Bezug auf relevante Objekte oder Bereiche auch weitergehend als Heatmaps oder Scanpfade visualisiert werden (s. Abb. 1). So können die komplexen Daten in ein leichter begreifbares und kontextorientiertes Format zur Untersuchung hinsichtlich grober Auffälligkeiten gebracht werden.

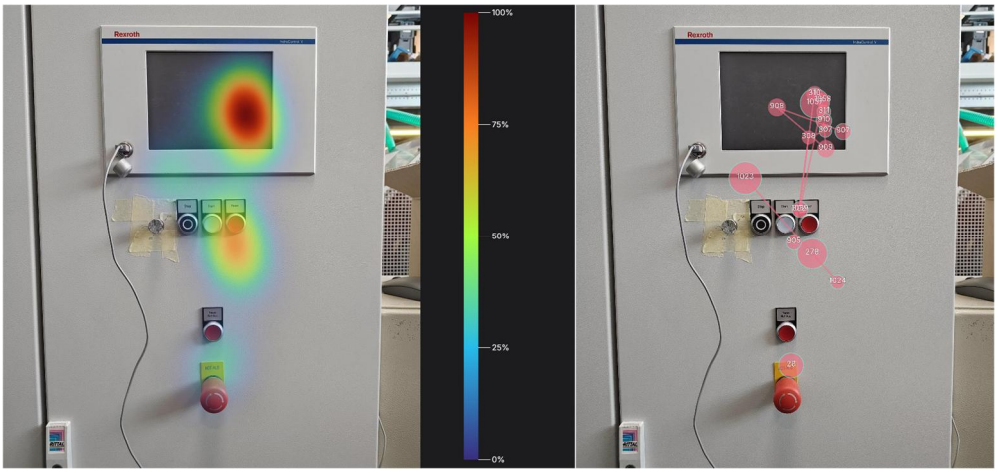


Abbildung 1: *Schaltschrank mit Heatmap (links) und Scanpfaden (rechts).*

ET wird disziplinübergreifend zur Erfassung von Aufmerksamkeits- und Verhaltensdaten genutzt. Welche Form des ETs dabei genutzt wird, ist abhängig von Ziel und Kontext. Bei Untersuchungsdesigns am Bildschirm sind stationäre Eyetracker dominant, erfordern für ein valides ET jedoch eine fixe Position. Während dies bspw. für ein Bürosetting geeignet sein kann, schränkt dieser Aufbau die Untersuchung dynamischer Tätigkeiten im gesamten AS ein. Mobiles ET hingegen ermöglicht die Untersuchung dynamischer Tätigkeiten mit erforderlichen Blickwechseln (z. B. zwischen Bildschirm und Maschine), da es freie Bewegung und präzise Datenerfassung ohne einzuhaltende Abstände und Bewegungsgrade erlaubt. Die Kameraansicht der Egoperspektive eines Akteurs hilft dann dabei, so nah wie möglich an eben dessen Perspektive und somit dessen wahrgenommene Kontexte zu gelangen (Fu et al., 2024; Lahlou, 2011; Nolte et al., 2025).

Im Bereich der User Experience, Usability und Human-Computer Interaction wird mit stationärem ET analysiert, wie Nutzende mit Benutzerschnittstellen interagieren, wobei die visuelle Aufmerksamkeit und das Verhalten der Nutzenden im Fokus stehen. Bezüglich der Aufmerksamkeit wird zum einen analysiert, wohin diese bei der Nutzung der Schnittstelle gelenkt wird, bspw. mithilfe von Scanpfaden. Zum anderen wird der Umfang der Verarbeitung bezüglich angesehener Objekte und Elemente analysiert, bspw. mithilfe der Fixationsdauer. Dies soll Aufschluss darüber geben, wo es Verbesserungsbedarf hinsichtlich des Schnittstellen-Designs und der Benutzerfreundlichkeit gibt (Jacob & Karn, 2003; Poole & Ball, 2006). Sind bestimmte Bereiche der Schnittstelle von Interesse, können diese als Areas of Interest (AOI) identifiziert und definiert werden, woraufhin diese genauer untersucht werden, bspw., wie lange und oft sowie in welcher Reihenfolge sie im Vergleich zu anderen Bereichen angeschaut wurden (Olmsted-Hawala et al., 2014).

Blicken wir auf unser Vorhaben, soziotechnische AS, die sich in ihrem Aufbau stark voneinander unterscheiden können, ganzheitlich zu untersuchen, wird klar, dass mobiles ET aufgrund seiner Flexibilität für uns geeigneter als stationäres ET ist. Dabei ist insbesondere die räumliche Größe der AS, die Diversität der Bedienelemente und Benutzerschnittstellen sowie die Diversität der Prozessschritte zu berücksichtigen. Auch der Informationsgehalt des mobilen ET ist angemessener für unser Vorhaben, da wir möglichst nah an die Perspektive der Mitarbeitenden während des gesamten Arbeitsprozesses gelangen wollen.

3. Methodologisches Konzept des Pretests

Unser Pretest-Konzept folgt dem schematischen Aufbau von A-priori-Befragung, Durchführung der Arbeitsaufgabe und paralleler Beobachtung sowie A-posteriori-Befragung (s. Abb. 2). Dies gilt es auf den spezifischen Anwendungsfall abzustimmen. Die nachfolgend detailliert ausgeführten Bausteine des Pretest-Konzepts sind daher nicht als unveränderliche Vorlage zu betrachten, sondern als Handlungsanleitung: Der schematische Aufbau bleibt bestehen, doch die inhaltliche Ausgestaltung muss auf den Anwendungsfall angepasst werden. Gerade hinsichtlich der Details für die jeweilige Anwendung ist eine Anpassung nötig, da bspw. die Interviews vom konkreten Erkenntnisinteresse der Forschenden und dem Anwendungskontext abhängen.

Das Konzept wurde bereits empirisch an einer Vlies-Produktionslinie mit zwei Teilnehmenden erprobt, um die intuitive Bedienbarkeit eines neuen Human-Machine-Interfaces zu ermitteln. Beim verwendeten Eyetracker handelt es sich um das Modell

"Neon" von PupilLabs mit dem Gestell "I can see clearly now" (ähnlich zu einer herkömmlichen Brille), an welchem Gläser mit verschiedenen Stärken magnetisch angebracht werden können[10]. Die Aufnahmen können entweder in der Cloud des Anbieters auf deutschen Servern hochgeladen, analysiert und visualisiert werden, oder mithilfe der "pl-neon-recording" library in Python analysiert und visualisiert werden[11]. Letzteres ist empfehlenswert, wenn die Daten für die Vergleichbarkeit der Mitarbeitenden normalisiert werden müssen, da dies in der Cloudlösung nicht möglich ist.

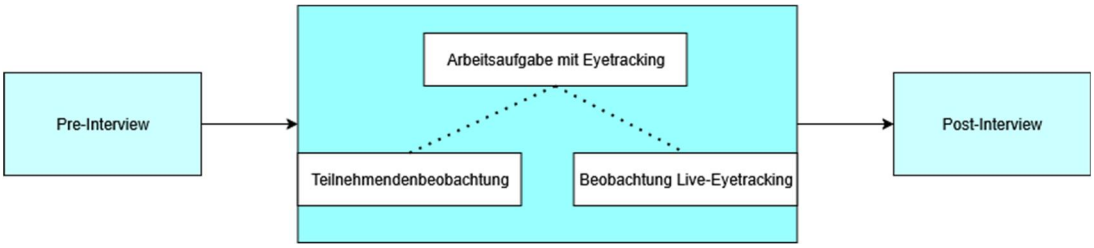


***Abbildung 2**: Schematischer Ablauf des Pretests.*

Zunächst gilt es vor dem Pretest, die Analyse der ET-Aufzeichnungen vorzubereiten. In unserem Fall ist es notwendig, Scanvideos und Referenzbilder der relevanten Objekte zu erstellen, da nur hiermit die integrierten Analysetools der Cloudanwendung des Herstellers genutzt werden können. Hierfür ist vorab zwingend das Einverständnis der partizipierenden Unternehmen einzuholen, dies betrifft insbesondere Aspekte des gesetzlichen Datenschutzes und die Wahrung von Betriebsgeheimnissen.

Der Pretest fängt mit einem Pre-Interview an. Dieses dient der Gewöhnung an den Eyetracker, da er zwar ähnlich zu einer Brille ist, jedoch ein kabelgebundenes Gestell hat, das über ein verbundenes Smartphone mit Strom versorgt wird, sowie die Aufnahmen streamt und speichert. Zudem soll das Pre-Interview dazu dienen, die Tatsache, dass die Aktivität gefilmt wird, in den Hintergrund zu rücken oder dass sie idealerweise sogar vollständig vergessen wird. Dies soll verzerrende Wirkungen mindern, da es empirische Hinweise auf einen observer bias (bzw. Hawthorne-Effekt) durch die Präsenz von Beobachtenden und dem Eyetracker gibt (Wong & Stephen, 2019). Im Pre-Interview werden Fragen zur Befindlichkeit, bspw. der Müdigkeit, gestellt, um die Interpretation der ET-Daten zu kontextualisieren. Des Weiteren werden den Mitarbeitenden der Testablauf und die Arbeitsaufgabe erklärt, wobei explizit betont wird, dass nicht die Person, sondern das System getestet wird und die Performance der Mitarbeitenden nicht gemessen und nicht an Personen im Unternehmen weitergegeben wird.

Nach dem Pre-Interview erfüllen die Mitarbeitenden jene Aufgabe, während mit genügend räumlichen Abstand eine Person eine Teilnehmendenbeobachtung durchführt sowie eine andere Person das ET live über einen Bildschirm beobachtet. Die Aufgabe soll ähnlich zu im Arbeitsalltag durchgeführten Aufgaben sein, um die Mitarbeitenden nicht zusätzlich zu verunsichern. Im Rahmen der Teilnehmendenbeobachtung werden Elemente notiert, die zur Belastung beitragen, bspw. die Raumtemperatur oder Gegenstände, die im Weg liegen. Außerdem soll auffällige Gestik oder Mimik festgehalten werden sowie Bewegungen, die Einfluss auf das ET nehmen könnten, da ein Unterschied in der Analyse der erhobenen Daten besteht, ob die teilnehmende Person le-

[10] Für genauere Informationen siehe https://pupil-labs.com/products/neon/specs, letzter Aufruf am 13.12.2025.
[11] Genaueres zur Anwendung unter https://github.com/pupil-labs/pl-neon-recording, letzter Aufruf am 13.12.2025.

diglich die Augen in eine Richtung bewegt, den gesamten Kopf bewegt, oder zur entsprechenden Stelle geht. Bei der Beobachtung des Live-ETs werden Auffälligkeiten oder Fragen mit Hilfe eines Beobachtungsleitfadens, der mögliche Interpretationen der Daten hinsichtlich Usability-Problemen beinhaltet, notiert. Dieser Leitfaden soll als Gedankenstütze für Beobachtende dienen, da die Auffälligkeiten und Interpretationen umfangreich sein und einander ähneln können. Für die Notation ist eine adäquate Kenntnis des beobachteten Arbeitsprozesses und des AS unerlässlich, um Auffälligkeiten korrekt zu identifizieren und Systemelementen und Prozessschritten zuordnen zu können.

Diese in den Beobachtungen notierten Auffälligkeiten und Fragen werden nach der Bearbeitung der Aufgabe in einem Post-Interview abgefragt, da die mit ET erfassten Daten unterschiedliche oder in manchen Fällen auch gar keine Implikationen haben können (Just & Carpenter, 1976). Weiterhin werden hier Fragen zur intuitiven Bedienbarkeit des Systems sowie zu Verbesserungsvorschlägen und zur Beeinträchtigung durch den Eyetracker gestellt.

Da die im ET beobachteten Ausprägungen wie erwähnt teils unterschiedlich interpretiert werden können, ist diese Methode kontextualisierungsbedürftig. Daher haben wir uns zur Triangulation für zwei ergänzende Methoden, die Teilnehmendenbeobachtung und das Post-Interview, entschieden. Die Teilnehmendenbeobachtung dient dazu, die ET-Daten durch Auffälligkeiten von außen zu kontextualisieren und das Post-Interview, die ET-Daten durch gezielte Nachfragen zu den Gründen bestimmter Blickverläufe weiter einzuordnen. Hierbei ist wichtig zu erwähnen, dass diese Auffälligkeiten direkt nach dem Test angesprochen werden, da die mit ET erhobenen Daten oft unbewusst entstehen, demnach auch schnell wieder vergessen werden (Lahlou, 2011). Nachdem der Pretest abgeschlossen ist, werden die Daten der verschiedenen Methoden, also der Befragungen, Beobachtungen und des ETs, miteinander abgeglichen.

4. Diskussion

Mit ET ist es möglich, den gesamten Arbeitsprozess möglichst wenig invasiv zu filmen und live zu beobachten sowie die (unbewusste) kognitive Beanspruchung quantitativ zu erheben, entdecken und auszuwerten. Durch das Bewusstmachen dieser Beanspruchung können mehr bzw. aussagekräftigere Verbesserungsmöglichkeiten für das AS eingeholt werden. Es bietet sich daher an, ET zur Problemidentifizierung und -behandlung im Rahmen von ASTs zu verwenden, insbesondere im Bereich Usability und User Experience. Vor allem in Kombination mit den Befragungen kann ET dabei unterstützen zu prüfen, ob das AS den Anforderungen der Arbeitnehmenden gerecht wird und ob es die Arbeit tatsächlich erleichtert.

Das Konzept weist jedoch auch Limitationen auf. Obwohl der Eyetracker weniger invasiv ist als bspw. Kameras, die dauerhaft für die Mitarbeitenden sichtbar sind, kann eine minimale Einschränkung durch das kabelgebundene Gestell nicht ausgeschlossen werden. Darüber hinaus handelt es sich trotz vertrauter Arbeitsaufgabe nicht um eine gewöhnliche Arbeitssituation, da mind. zwei Forschende anwesend sind, weshalb ein observer bias nicht vollständig ausgeschlossen werden kann. Zudem ist beim Live-ET eine hohe Informationsdichte zu verzeichnen, sodass potenziell relevante Details übersehen werden können, die einer nachfolgenden Analyse der Aufzeichnungen bedürfen. Ein Abgleich der Interpretationen mit den Antworten der Mitarbeitenden ist in diesem Fall jedoch nicht mehr möglich, da evtl. zu viel Zeit seit dem Test vergangen sein wird.

5. Fazit

ET kann mit einem geeigneten Forschungsdesign gewinnbringend zur Analyse von soziotechnischen AS eingesetzt werden. Hierfür ist insbesondere die Triangulation mit Methoden der Befragung und Beobachtung empfehlenswert, um der Kontextsensibilität des ETs entgegenzuwirken. Dabei sollten die einzelnen Erhebungsinstrumente und deren Einsatz spezifisch auf den Anwendungsfall zugeschnitten werden, jedoch ohne den schematischen Aufbau (s. Abb. 2) abzuändern. Zu beachten gilt, dass ein observer bias durch die anwesenden Forschenden sowie dem Eyetracker selbst trotz Maßnahmen wie dem räumlichen Abstand und der Eingewöhnungsphase nicht vollständig ausgeschlossen werden kann. Da das Konzept für die Anwendung unter möglichst realen Bedingungen gedacht ist, ist auch die räumliche Ausgestaltung des Versuchsaufbaus individualisierungsbedürftig.

6. Literatur

Altepost, A., Merx, W., Rezaey, A., & Löhrer, M. (2021). SozioTex—Neue soziotechnische Systeme in der Textilbranche [Abschlussbericht]. Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University (ITA).

Fu, X., Franchak, J. M., MacNeill, L. A., Gunther, K. E., Borjon, J. I., Yurkovic-Harding, J., Harding, S., Bradshaw, J., & Pérez-Edgar, K. E. (2024). Implementing mobile eye tracking in psychological research: A practical guide. Behavior Research Methods, 56(8), 8269–8288. https://doi.org/10.3758/s13428-024-02473-6

Jacob, R. J. K., & Karn, K. S. (2003). Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Ready to Deliver the Promises. In J. Hyönä, R. Radach, & H. Deubel (Hrsg.), The Mind's Eye: Cognitive and Applied Aspects of Eye Movement Research (S. 573–605). North-Holland.

Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1976). Eye fixations and cognitive processes. Cognitive Psychology, 8(4), 441–480. https://doi.org/10.1016/0010-0285(76)90015-3

Lahlou, S. (2011). How can we capture the subject's perspective? An evidence-based approach for the social scientist. Social Science Information, 50(3–4), 607–655. https://doi.org/10.1177/0539018411411033

Mayo, E. (1930). The Human Effect of Mechanization. The American Economic Review, 20(1), 156–176.

Nolte, D., Walter, J. L., Von Bassewitz, L., Scherer, J., Müller, M. M., & König, P. (2025). Mobile Eye Tracking in the Real World: Best Practices. Neuroscience. https://doi.org/10.1101/2025.08.11.669631

Olmsted-Hawala, E., Holland, T., & Quach, V. (2014). Usability Testing. In J. R. Bergstrom & A. J. Schall, Eye Tracking in User Experience Design (1. Edition, S. 49–80). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408138-3.00003-0

Poole, A., & Ball, L. J. (2006). Eye Tracking in HCI and Usability Research. In C. Ghaoui (Hrsg.), Encyclopedia of Human Computer Interaction (S. 211–219). IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-59140-562-7.ch034

Wong, H. K., & Stephen, I. D. (2019). Eye tracker as an implied social presence: Awareness of being eye-tracked induces social-norm-based looking behaviour. Journal of Eye Movement Research, 12(2). https://doi.org/10.16910/jemr.12.2.5

Danksagung: Das Kompetenzzentrum WIRKsam (FKZ: 02L19C600ff.) wird im Rahmen der Fördermaßnahme „Regionale Kompetenzzentren der Arbeitsforschung" vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für diesen Beitrag liegt bei den Autor*innen.

Menschengerechte Arbeitszeitgestaltung im Spannungsfeld zwischen Flexibilisierung und Arbeitsschutz

Nils BACKHAUS

Gruppe 1.1 „Arbeitszeit und Flexibilisierung", Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Friedrich-Henkel-Weg 1–25, D-44149 Dortmund

Kurzfassung: Die Gestaltung der Arbeitszeit ist ein zentrales Thema der Arbeitswissenschaft und bewegt sich im Spannungsfeld zwischen Arbeits- und Gesundheitsschutz, betrieblicher Flexibilität sowie individuellen Bedürfnissen. Der Beitrag greift aktuelle Entwicklungen sowie arbeitszeitpolitische Debatten auf und beleuchtet zentrale Dimensionen der Arbeitszeitgestaltung. Ein besonderer Fokus liegt auf dem Arbeitszeitgesetz als Schutz- und Gestaltungsrahmen sowie auf aktuell diskutierten Reformansätzen. Vor dem Hintergrund wirtschaftlicher und demografischer Veränderungen werden Risiken, Gestaltungsspielräume und offene Fragen zur möglichen Weiterentwicklung der (De-)Regulierung von Arbeitszeit aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive diskutiert.

Schlüsselwörter: Arbeitszeit, Flexibilisierung, Koalitionsvertrag, Arbeitszeitgestaltung

1. Arbeitszeitgestaltung und Arbeitsschutz

Die Arbeitszeit (verstanden als Zeit der bezahlten Erwerbsarbeit) gehört zu den zentralen Gestaltungsfeldern der Arbeitswissenschaft und des Arbeitsschutzes. Die Gestaltung beeinflusst maßgeblich die Sicherheit, die Gesundheit sowie die Leistungsfähigkeit von Beschäftigten und steht gleichzeitig im engen Zusammenhang mit individuellen und betrieblichen Bedarfen (z. B. Backhaus et al. 2023). Die Arbeitszeitgestaltung wird seit langem nicht nur durch betriebliche ökonomische Notwendigkeiten, sondern ebenso durch individuelle Bedürfnisse der Beschäftigten geprägt, da Unternehmen Arbeitszeiten flexibel an Nachfrage- und Leistungsanforderungen anpassen müssen, während Beschäftigte Arbeitszeitarrangements suchen, die ihre Lebens- und Familienlagen berücksichtigen (z. B. Zapf & Weber 2017).

Dies betrifft im Grunde alle Gestaltungsdimensionen der Arbeitszeit (Backhaus 2025). Die Länge der Arbeitszeit beschreibt, wie lange Beschäftigte täglich oder wöchentlich sowie im Jahres- oder Lebensverlauf arbeiten (Lebensarbeitszeit). Die Lage der Arbeitszeit bezieht sich darauf, zu welchen Tages- oder Wochenzeiten Beschäftigte tätig sind und wie sich die Arbeitszeit über den Tagesverlauf und die Arbeitswoche verteilt (Arlinghaus & Nachreiner 2016). Hierzu zählen atypische Arbeitszeiten wie Abend- und Nachtarbeit ebenso wie Arbeit an Wochenenden und Feiertagen. Die Arbeitszeitflexibilität umfasst die Möglichkeit der Einflussnahme auf die Arbeitszeit durch Betriebe (Flexibilitätsanforderungen an Beschäftigte, z. B. Rufdienste) oder durch Beschäftigte selbst (z. B. Backhaus et al. 2023).

Darüber hinaus sind Pausen- und Erholungszeiträume während und außerhalb der Arbeitszeit von großer Bedeutung (Vieten & Brauner 2020), die ebenfalls zeitlich unterschiedlich ausgestaltet sein können, z. B. Erholungspausen im Verlauf des

Arbeitstags, Tages- und Wochenruhezeiten nach dem Arbeitstag bzw. der Arbeitswoche oder längere Erholungsepisoden wie Urlaub oder Sabbaticals. Die Taktung von Arbeitszeit und Freizeit über die Arbeitswoche kann darüber hinaus stark variieren, von Tag zu Tag, Woche zu Woche oder Monat zu Monat (Arbeitszeitvariabilität; vgl. Backhaus 2022). Zudem begünstigen flexible Arbeitszeitmodelle sowie mobiles Arbeiten zunehmend eine Fragmentierung von Arbeitszeit und Freizeit (Backhaus & Lott 2025), womit das Ausmaß der Aufteilung der (täglichen) Erwerbsarbeit in mehrere, durch erwerbsarbeitsfreie Zeiten unterbrochene Zeiteinheiten beschrieben wird (Hubers et al. 2008). Durch die Kombination unterschiedlicher Gestaltungselemente, insbesondere der Instrumente flexibler Arbeitszeitgestaltung, ergibt sich eine große Vielfalt von Arbeitszeitmodellen mit jeweils spezifischen Auswirkungen auf Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten.

2. Arbeitszeitgesetz und Reformdebatte

Der Zweck des Arbeitszeitgesetzes nach § 1 ArbZG besteht darin, die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Beschäftigten zu gewährleisten. Viele der o. g. Dimensionen werden daher im Arbeitszeitgesetz (ArbZG) direkt oder indirekt angesprochen (vgl. Tabelle 1). Das deutsche Arbeitszeitgesetz bildet daher eine zentrale Säule des Arbeitsschutzes sowie eine wichtige Norm der (präventiven) Arbeitszeitgestaltung. Die Vorgaben beruhen auf arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen zur Ermüdung, zum Erholungsbedarf sowie zu gesundheitlichen und Unfallrisiken (z. B. Kothe et al. 2018).

Gleichzeitig verfolgt das Arbeitszeitgesetz das Ziel, durch klare gesetzliche Vorgaben die Rahmenbedingungen für flexible Arbeitszeiten zu verbessern. Dies wird durch die vielen Ausnahmeregelungen, z. B. durch Tarifverträge oder Genehmigung durch die Arbeitsschutzbehörden der Länder deutlich (vgl. Tabelle 1). Diese Regelungen ermöglichen es Betrieben und Beschäftigten, Arbeitszeiten an betriebliche Erfordernisse sowie individuelle Bedürfnisse anzupassen. Dadurch bietet das Arbeitszeitgesetz einen flexiblen Rechtsrahmen, der sowohl betriebswirtschaftliche Abläufe unterstützt als auch die Vereinbarkeit von Arbeit und Privatleben für die Beschäftigten fördern kann.

Aktuelle arbeitszeitpolitische Debatten verdeutlichen dieses Spannungsfeld zwischen Arbeitsschutz und Flexibilitätsbedarfen. Im Koalitionsvertrag der Bundesregierung werden Reformen angekündigt, die eine flexiblere Gestaltung der Arbeitszeit ermöglichen sollen. Dadurch erfährt das Thema Arbeitszeit erneut verstärkte Aufmerksamkeit. Insbesondere das im Koalitionsvertrag von CDU/CSU und SPD vorgesehene Vorhaben, die tägliche Höchstarbeitszeit (§ 3 ArbZG) flexibler zu gestalten, etwa durch eine wöchentliche statt täglicher Höchstgrenze, wie sie in der europäischen Richtlinie (2003/88/EG, Art. 6) vorgesehen ist, hat eine breite gesellschaftliche Diskussion ausgelöst. Auch die zunehmende politische Debatte über eine Verlängerung der Lebensarbeitszeit bzw. eine Anhebung des Renteneintrittsalters ist mit erheblichen Kontroversen verbunden. In beiden Vorhaben wird vorranging auf die angespannte wirtschaftliche Lage verwiesen, sowie auf den demografischen Wandel, den damit einhergehenden Fachkräftemangel und die daraus resultierenden Herausforderungen für die Finanzierung des Rentensystems in Deutschland.

Tabelle 1: *Ausgewählte Regelungen im Arbeitszeitgesetz und Entsprechungen in der europäischen Richtlinie.*

Arbeitszeit-gesetz (ArbZG)	**Normen**	**Europäische Gesetzgebung (Richtlinie 2003/88/EG)**
§ 3	Tägl. Höchstarbeitszeit: 8 (bis zu 10) Std.	Wöchentl. Höchst-arbeitszeit (Art. 6)
§ 4	Mindestpausenzeiten: 30 oder 45 Min.	Art. 4
§ 5	Tägliche Mindestruhezeit: 11 Std.	Art. 3
§ 6	Nacht-/Schichtarbeit muss wissen-schaftlichen Erkenntnissen entsprechen; Nachtarbeit (zw. 23:00–06:00 Uhr)	Art. 8–9
§§ 9/10	Sonntags- und Feiertagsruhe (mit begrenzten Ausnahmen)	Wöchentliche Ruhezeit, Art. 5
§ 16	Arbeitszeit muss erfasst werden, insbesondere wenn sie über die regulären Grenzen (8 Stunden) hinausgeht / außerhalb von Werktagen liegt	EuGH-Urteil C-55/18
§§ 13ff.	Abweichungen und Ausnahmen durch Tarifverträge oder Genehmigung	Art. 197–1
§§ 18ff.	Sonderregelungen für bestimmte Gruppen (z. B. Führungskräfte, öffentlicher Dienst)	Art. 17

Befürworter einer Deregulierung argumentieren, dass starre Vorgaben nicht mehr zur modernen Arbeitswelt passen, welche durch Projektarbeit, mobile Arbeit und internationale Zusammenarbeit geprägt ist. Kritiker verweisen hingegen auf die Schutzfunktion des Arbeitszeitrechts und warnen vor einer Zunahme gesundheitlicher Risiken. Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht ist dabei entscheidend, dass Flexibilisierung nicht mit einer Ausweitung von Belastungen gleichgesetzt werden darf.

3. Offene Fragen in der Debatte um eine Deregulierung

Aus Sicht des Arbeitsschutzes ergeben sich einige Fragen entlang der Vorhaben zur Änderung des Arbeitszeitgesetzes.

Tägliche Arbeitszeit als Normwert. Aus Sicht des Arbeitsschutzes ist die Arbeitszeit nicht nur ein eigenständiger Arbeitsbedingungsfaktor für die Gesundheit bei der Arbeit, sondern steht auch in engem Zusammenhang mit zahlreichen weiteren Gefährdungs- und Belastungsfaktoren. Die „Normalarbeitszeit“ von acht Stunden dient als Referenzzeitraum für zentrale Aspekte des Arbeits- und Gesundheitsschutzes, wie etwa bei der Festlegung von Grenzwerten, z. B. für Lärm oder Gefahrstoffe. Durch überlange werktägliche Arbeitszeiten sind Beschäftigte diesen Belastungen deutlich länger ausgesetzt.

Gesundheit. Überblicksstudien zu den gesundheitlichen Folgen deuten überwiegend auf negative Auswirkungen langer täglicher Arbeitszeiten hin. Arbeitszeiten von mehr als zehn Stunden pro Tag stehen langfristig unter anderem im Zusammenhang mit einem erhöhten Risiko für Depressionen, koronare Herzerkrankungen und Schlafstörungen (z. B. Bannai & Tamakoshi 2014). Solche Zusammenhänge zeigen sich auch für Beschäftigte, die vorwiegend wissensbasierte bzw. kognitive Tätigkeiten, z. B. im Büroumfeld, ausführen (Bernstrøm et al. 2025).

Leistungsfähigkeit und Unfallgeschehen. Groß angelegte Überblicksarbeiten, insbesondere auf Basis von Beschäftigten im Gesundheitswesen, weisen auf tendenziell negative Auswirkungen langer Schichten (≥ 12 Stunden) auf die Leistungsfähigkeit hin

(z. B. Dall'Ora et al. 2016). Bereits bei Arbeitszeiten von mehr als acht Stunden nehmen Aufmerksamkeit und weitere exekutive Funktionen, wie Planungsvermögen oder Konzentrationsfähigkeit, spürbar ab, was die Bewältigung komplexer beruflicher Anforderungen erschwert (Fischer et al. 2017). Diese Leistungsabnahme geht mit einem erhöhten Risiko für Fehlhandlungen, Arbeitsunfälle und Wegeunfälle einher (z. B. Matre et al. 2021). Das Unfallrisiko steigt nach der achten Arbeitsstunde exponentiell an und ist nach zwölf Stunden etwa doppelt so hoch wie nach acht Stunden (Fischer et al. 2017; Wagstaff & Lie 2011). Dieses erhöhte Risiko betrifft nicht nur Unfälle am Arbeitsplatz, sondern auch Wegeunfälle, etwa im Straßenverkehr (z. B. Smith et al. 2020).

4. Fazit und Ausblick

Zusammenfassend verdeutlicht der Beitrag, dass die Arbeitszeitgestaltung ein hochkomplexes und zentrales Handlungsfeld zwischen Arbeitsschutz, arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen und betrieblichen wie individuellen Flexibilitätsbedarfen darstellt. Das Arbeitszeitgesetz erfüllt dabei eine doppelte Funktion: Es setzt verbindliche Schutzstandards zur Sicherung von Gesundheit, Sicherheit und Leistungsfähigkeit der Beschäftigten und eröffnet zugleich durch zahlreiche Ausnahmeregelungen einen beachtlichen Gestaltungsspielraum für flexible Arbeitszeitmodelle. Diese Balance hat sich historisch als tragfähig erwiesen und bildet auch heute noch den normativen Kern der Regelung von Arbeitszeit.

Die aktuellen arbeitszeitpolitischen Reformdebatten, insbesondere zur möglichen Abkehr von der täglichen Höchstarbeitszeit zugunsten einer stärkeren Orientierung an Wochenarbeitszeiten, machen jedoch deutlich, dass dieses Spannungsfeld aktuell neu verhandelt wird. Aus arbeitswissenschaftlicher bzw. arbeitsschutzrechtlicher Perspektive sollte dabei kritisch reflektiert werden, inwieweit bestehende Schutzmechanismen weiterhin gewährleistet werden können, wenn zentrale Referenzgrößen wie die tägliche Arbeitszeit an Bedeutung verlieren. Die vorliegenden empirischen Befunde zu gesundheitlichen Risiken, Leistungsabnahme und erhöhtem Unfallgeschehen bei langen täglichen Arbeitszeiten unterstreichen, dass Flexibilisierung nicht losgelöst von der Belastungseinwirkung auf Beschäftigte betrachtet werden sollte. Für Forschung, Praxis und Politik ergibt sich daraus die Aufgabe, den Diskurs weiterhin evidenzbasiert zu begleiten und sicherzustellen, dass zukünftige Regelungen sowohl den Bedingungen einer sich wandelnden Arbeitswelt als auch dem präventiven Gesundheitsschutz gerecht werden.

5. Literatur

Arlinghaus A, Nachreiner F (2016) Unusual and unsocial? Effects of shift work and other unusual working times on social participation. In: Iskra-Golec I, Barnes-Farrell J, Bohle P (Hrsg.), Social and family issues in shift work and non standard working hours. Cham: Springer International Publishing, 39-57.

Backhaus N (2022) Working Time Control and Variability in Europe Revisited: Correlations with Health, Sleep, and Well-Being. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19:14778.

Backhaus N (2025) Arbeitszeitgestaltung. In: vom Stein J, Rothe I, Schlegel R (Hrsg.), Gesundheitsmanagement und Krankheit im Arbeitsverhältnis. München: C.H.Beck, 324-340.

Backhaus N, Lott Y (2025) Arbeitszeitfragmentierung und Work-Life-Balance - Zeitliche Belastungen im Spannungsfeld von Geschlecht und Elternschaft sozialpolitik.ch, 1/2025.

Backhaus N, Nold J, Entgelmeier I, Brenscheidt F, Tisch A (2023) Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zu Arbeitszeit und gesundheitlichen Auswirkungen (baua: Fokus). Dortmund / Berlin / Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Zugriff am 06.01.2026 unter https://doi.org/10.21934/baua:fokus20230807

Bannai A, Tamakoshi A (2014) The association between long working hours and health: A systematic review of epidemiological evidence. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 40:5-18.

Bernstrøm VH, Ingelsrud M, Nilsen W (2025) The consequences of after-hours work: a fixed-effect study of burnout, pain, detachment and work–home conflict among Norwegian workers. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 51:38-47.

Dall'Ora C, Ball J, Recio-Saucedo A, Griffiths P (2016) Characteristics of shift work and their impact on employee performance and wellbeing: A literature review. International Journal of Nursing Studies, 57:12-27.

Fischer D, Lombardi DA, Folkard S, Willetts J, Christiani DC (2017) Updating the “Risk Index”: A systematic review and meta-analysis of occupational injuries and work schedule characteristics. Chronobiology International, 34:1423-1438.

Hubers C, Schwanen TIM, Dijst M (2008) ICT and Temporal Fragmentation of Acitivities: An Analytical Framework and Initial Empirical Findings. Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie, 99:528-546.

Kothe W, Faber U, Feldhoff K (2018) Gesamtes Arbeitsschutzrecht (2. Aufl.). Baden-Baden: Nomos.

Matre D, Skogstad M, Sterud T, Nordy K-C, Knardahl S, Christensen JO, Lie J-AS (2021) Safety incidents associated with extended working hours. A systematic review and meta-analysis. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 47:415-424.

Smith A, McDonald AD, Sasangohar F (2020) Night-shift nurses and drowsy driving: A qualitative study. International Journal of Nursing Studies, 112:103600.

Vieten L, Brauner C (2020) (Keine) Zeit für Erholung? Repräsentative Zahlen der BAuA-Arbeitszeitbefragung zu Arbeitszeit, Erholung und Gesundheit (baua: Bericht kompakt). Dortmund / Berlin / Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Zugriff am 06.01.2026 unter http://doi.org/10.21934/baua:berichtkompakt20200811

Wagstaff AS, Lie J-AS (2011) Shift and night work and long working hours - a systematic review of safety implications. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 37:173-185.

Zapf I, Weber E (2017) The role of employer, job and employee characteristics for flexible working time: An empirical analysis of overtime work and flexible working hours’ arrangements (IAB-Discussion Paper Nr. 4/2017). Nürnberg: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung. Zugriff am 06.01.2026 unter http://doku.iab.de/discussionpapers/2017/dp0417.pdf

Arbeitszeit im Umbruch? Ergebnisse der BAuA-Arbeitszeitbefragung zu aktuellen Reformvorhaben

Nils BACKHAUS, Julius KÖTTER, Johanna NOLD, Ines ENTGELMEIER

Gruppe 1.1 „Arbeitszeit und Flexibilisierung“
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
Friedrich-Henkel-Weg 1–25, D-44149 Dortmund

Kurzfassung: Die Gestaltung der Arbeitszeit steht angesichts von Fachkräftemangel und wirtschaftlicher Stagnation in Deutschland zunehmend im Fokus arbeitsmarktpolitischer Debatten. Auf Grundlage der BAuA-Arbeitszeitbefragung werden Zusammenhänge zwischen Arbeitszeit, Gesundheit und Wohlbefinden analysiert. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass lange Arbeitszeiten und Überstunden mit vermehrten gesundheitlichen Beschwerden einhergehen können. Gleichzeitig hat sich die Diskrepanz zwischen gewünschter und tatsächlicher Arbeitszeit in den vergangenen Jahren deutlich vergrößert, wobei Arbeitszeitverkürzungswünsche zugenommen haben. Darüber hinaus deutet sich Arbeitszeiterfassung als wichtiges Instrument zur Reduktion zeitlicher Entgrenzung und zur Förderung von Flexibilität an. Insgesamt unterstreichen die Befunde die Bedeutung einer gesundheitsförderlichen Ausgestaltung von Arbeitszeitregelungen.

Schlüsselwörter: Arbeitszeitgestaltung, Arbeitszeitwünsche, Arbeitszeiterfassung, Überstunden, Gesundheit, Work-Life-Balance

1. Arbeitszeitgestaltung und Reformvorhaben im Arbeitszeitgesetz

Angesichts des anhaltenden Fachkräftemangels und der wirtschaftlichen Stagnation in Deutschland wird die Gestaltung der Arbeitszeit derzeit intensiv diskutiert. Im Mittelpunkt stehen dabei auf der einen Seite Forderungen nach einer Verkürzung der Wochenarbeitszeit, etwa in Form der Viertagewoche oder tariflicher Wahloptionen zwischen Einkommen und Freizeit und auf der anderen Seite zuletzt vermehrt Bestrebungen zur Ausweitung der Arbeitszeit, beispielsweise durch steuerliche Anreize für Mehrarbeit oder eine Erhöhung des Renteneintrittsalters.

Arbeitszeit ist dabei ein wesentlicher Faktor für Arbeitsbelastungen, Erholung sowie die Vereinbarkeit von Beruf und Privatleben. Viele Aspekte der Arbeitszeit, wie z. B. Länge, Lage oder Flexibilität, stehen in engem Zusammenhang mit Gesundheit und Work-Life-Balance von Beschäftigten. Empirische Befunde zeigen, dass lange Arbeitszeiten und atypische Arbeitszeitlagen häufiger mit gesundheitlichen Beschwerden und einer eingeschränkten Work-Life-Balance einhergehen (z. B. Backhaus et al. 2023).

Der Beitrag greift zunächst lange Arbeitszeiten bzw. Überstunden auf. Ein weiterer Fokus liegt auf Arbeitszeitwünschen und Diskrepanzen zwischen gewünschter und tatsächlich Arbeitszeit. Diese Differenzen gewinnen zunehmend an Bedeutung, daher wird untersucht, wie verbreitet Verkürzungs- und Verlängerungswünsche sind und in welchem Zusammenhang unerfüllte Arbeitszeitwünsche mit Beeinträchtigungen des Wohlbefindens stehen. Abschließend wird analysiert, in welchem Ausmaß

Arbeitszeitdiskrepanzen im Zeitverlauf aufgelöst werden oder fortbestehen.

Vor diesem Hintergrund bieten die Daten der BAuA-Arbeitszeitbefragung eine empirische Grundlage zur Einordnung aktueller Reformvorhaben. Der vorliegende Beitrag basiert daher auf bestehenden Berichten der BAuA-Arbeitszeitberichterstattung (Kötter & Backhaus 2025; Kötter et al. 2024)

2. Datengrundlage und Methodik: BAuA-Arbeitszeitbefragung

Der vorliegende Beitrag nutzt die Ergebnisse der BAuA-Arbeitszeitbefragung 2023. Zur Einordnung aktueller Entwicklungen werden zudem Befunde aus früheren Erhebungswellen herangezogen. Die BAuA-Arbeitszeitbefragung ist eine repräsentative Panelbefragung von Erwerbstätigen in Deutschland, die mindestens zehn Stunden pro Woche einer abhängigen Beschäftigung nachgehen. Die Analysen für diesen Beitrag beziehen sich ausschließlich auf abhängig Beschäftigte im Alter von 15 bis 65 Jahren.

Die Datenerhebung der Befragung erfolgt als computergestützte telefonische Befragung (CATI) auf Basis einer Zufallsstichprobe von Festnetz- und Mobilfunknummern. Das Erhebungsinstrument erfasst detaillierte Informationen zur Arbeitszeitgestaltung, darunter Länge und Lage der Arbeitszeit, Überstunden, Ruhezeiten, Arbeitszeiterfassung sowie Arbeitszeitwünsche. Ergänzend werden Angaben zu gesundheitlichen Beschwerden, Erholung, Zufriedenheit und Wohlbefinden erhoben.

Zur Sicherstellung der Repräsentativität wurden die Daten anhand zentraler soziodemografischer und arbeitsmarktbezogener Merkmale (u. a. Geschlecht, Alter, Bildung, Region und Erwerbsstatus) gewichtet. Die vorliegenden Auswertungen erfolgen deskriptiv und berücksichtigen diese Gewichtungsfaktoren. Analysiert werden Zusammenhänge zwischen Merkmalen der Arbeitszeitgestaltung und Indikatoren von Gesundheit, Wohlbefinden und Work-Life-Balance.

Hinweise zur Arbeitszeitbefragung befinden sich in den Methodenberichten der Befragung (z. B. zur letzten verfügbaren Befragungswelle: Häring et al. 2024). Weitere Informationen und Berichte finden sich auf der Webseite der BAuA (http://www.baua.de/arbeitszeitbefragung). Der Zugriff auf die Daten kann beim Forschungsdatenzentrum der BAuA beantragt werden (http://www.baua.de/fdz).

3. Ergebnisse

3.1 Länge der Arbeitszeit und Überstunden

Den Auswertungen von Kötter et al. (2024) folgend ist die durchschnittliche tatsächlich geleistete Wochenarbeitszeit von abhängig Beschäftigten zwischen 2019 und 2023 leicht von 38,8 auf 38,5 Stunden gesunken. Ausschlaggebend hierfür ist vor allem der Rückgang der Arbeitszeit bei Männern, deren Wochenarbeitszeit sich im selben Zeitraum von 42,3 auf 41,4 Stunden verringerte. Bei Frauen zeigt sich hingegen eine marginale Zunahme von 34,9 auf 35,0 Stunden. Gesamtwirtschaftlich wurde trotz der moderaten Verkürzung der individuellen Arbeitszeiten beim Arbeitszeitvolumen in Deutschland 2023 mit rund 55 Millionen Arbeitsstunden ein Höchststand seit der Wiedervereinigung erreicht (vgl. Beckmannshagen & Sperling 2024). Diese Entwicklung ist insbesondere auf die gestiegene Erwerbsbeteiligung von Frauen

zurückzuführen. Kötter et al. (2024) berichten darüber hinaus eine leichte Abnahme der Überstunden pro Woche (2019: 3,4 Stunden, 2023: 3,1 Stunden), die ebenfalls auf einen geringeren Überstundenumfang bei Männern zurückgeht. Beschäftigte, die im Schnitt mehr als fünf Überstunden pro Woche leisteten, berichteten signifikant häufiger über gesundheitliche Beeinträchtigungen als Erwerbstätige mit bis zu zwei Überstunden (Kötter et al., 2024, vgl. Abbildung 1).

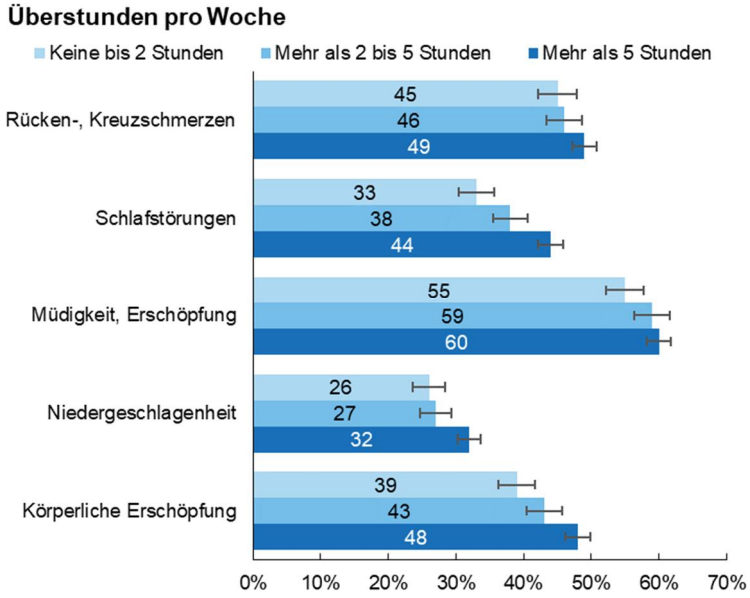


***Abbildung 1**: Gesundheitliche Beschwerden nach Überstunden pro Woche, BAuA-Arbeitszeitbefragung 2023 (9.556 ≤ n ≤ 9.564). Fehlerbalken repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall. Entnommen aus Kötter et al., 2024, S. 3.*

3.2 Arbeitszeitwünsche

Nach Analysen von Kötter and Backhaus (2025) auf Basis der BAuA-Arbeitszeitbefragung hat sich die Diskrepanz zwischen gewünschter und tatsächlich geleisteter Arbeitszeit im Zeitraum von 2015 bis 2023 deutlich vergrößert. Während die gewünschte Wochenarbeitszeit der Beschäftigten – bei entsprechend angepasstem Gehalt – kontinuierlich sank (von 35,6 auf 34,3 Stunden), ging die tatsächliche Arbeitszeit im selben Zeitraum nur marginal von 38,8 auf 38,5 Stunden zurück. Entsprechend wollte 2023 nur gut ein Drittel der Beschäftigten die Arbeitszeit beibehalten, während die Mehrheit eine Reduzierung anstrebte. Lediglich ein kleiner Anteil wünschte sich eine Ausweitung der Arbeitszeit (vgl. Tabelle 2). Die Ergebnisse zu den Arbeitszeitwünschen deuten auf einen über die Wellen hinweg wachsenden Wunsch nach einer Verkürzung der Arbeitszeit hin, während der Anteil der Beschäftigten, die ihre aktuelle Arbeitszeit beibehalten möchten, tendenziell zurückgeht. Parallel dazu nimmt der Wunsch nach einer Verlängerung der Arbeitszeit insgesamt ebenfalls ab. Für Männer zeigt sich durchgängig ein stärker ausgeprägter Verkürzungswunsch als für Frauen, während Frauen häufiger angeben, ihre derzeitige Arbeitszeit beibehalten oder verlängern zu wollen. Frauen arbeiten deutlich häufiger auch in Teilzeit, während Männer überwiegend in Vollzeit beschäftigt sind. Entsprechend unterscheiden sich auch die arbeitszeitbezogenen Präferenzen systematisch.

Tabelle 1: *Verbreitung von Arbeitszeitwünschen (BAuA-Arbeitszeitbefragung 2015–2023).*

Welle	Anteil Beschäftigter (in %) mit Wunsch nach… der Arbeitszeit **Gesamt** (Männer / Frauen[1])		
	… Verkürzung (gewünschte WAZ kürzer als tatsächliche WAZ)	… Beibehaltung (gewünschte WAZ entspricht der tatsächlichen WAZ)	… Verlängerung (gewünschte WAZ länger als tatsächliche WAZ)
2015	**46,7** (42,6 / 50,3)	**40,1** (39,8 / 40,3)	**13,3** (17,6 / 9,4)
2017	**49,4** (44,5 / 53,6)	**39,1** (40,7 / 37,6)	**11,6** (14,8 / 8,7)
2019	**56,3** (51,2 / 60,7)	**34,9** (38,1 / 32,2)	**8,8** (10,8 / 7,1)
2021	**53,5** (49,3 / 57,1)	**36,6** (38,3 / 35,1)	**10,0** (12,4 / 7,8)
2023	**56,5** (54,1 / 58,6)	**35,5** (36,4 / 34,8)	**7,9** (9,5 / 6,6)

WAZ: Wochenarbeitszeit, [1] Aufgrund der geringen Fallzahl werden Befragte, die 2023 eine nicht binäre Angabe zur Geschlechtszugehörigkeit getätigt haben (n = 13), randomisiert der Kategorie „weiblich“ oder „männlich“ zugeordnet. Details zur Erhebung der Geschlechtervariable finden sich im Methodenbericht der BAuA-Arbeitszeitbefragung 2023 (Häring et al. 2024).

Die Ergebnisse der BAuA-Arbeitszeitbefragung (Kötter & Backhaus 2025) zeigen, dass insbesondere Arbeitszeitverkürzungswünsche und in geringerem Maße auch Verlängerungswünsche mit gesundheitlichen Beschwerden assoziiert sind (vgl. Abbildung 2). So berichten Beschäftigte mit einem Verkürzungswunsch deutlich häufiger von Schlafstörungen als Personen mit einem Verlängerungs- oder Beibehaltungswunsch. Auch Symptome wie Müdigkeit, Erschöpfung und Niedergeschlagenheit treten bei Beschäftigten mit Verkürzungswunsch häufiger auf. Ein vergleichbares Muster zeigt sich zudem bei körperlicher Erschöpfung. Lediglich bei Rücken- und Kreuzschmerzen unterscheiden sich Verkürzungs- und Verlängerungswünsche kaum, während diese Beschwerden bei Beschäftigten ohne Arbeitszeitdiskrepanz seltener genannt werden. Diese Zusammenhänge zeigen sich in ähnlicher Weise sowohl bei Beschäftigten in Teilzeit als auch in überlanger Vollzeit.

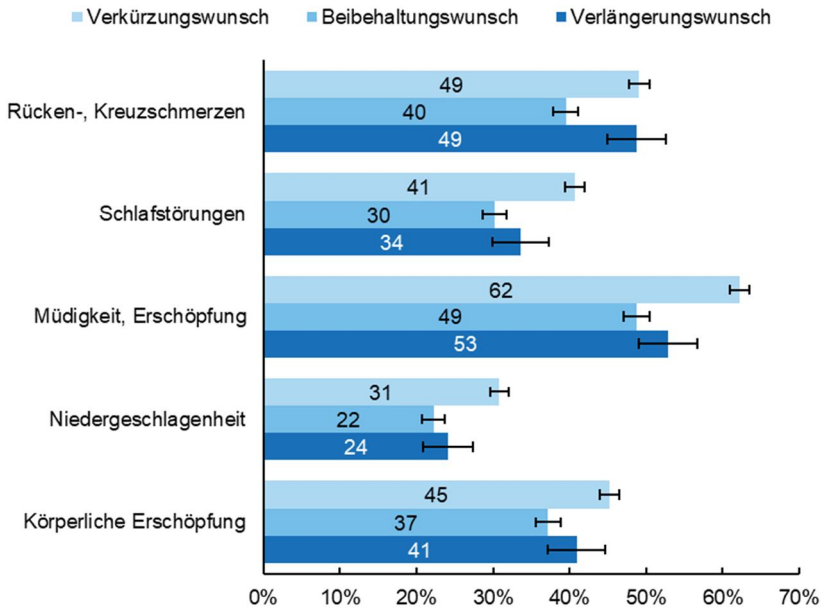


Abbildung 2*: Gesundheitliche Beschwerden nach Arbeitszeitwünschen, BAuA-Arbeitszeitbefragung 2023 (9.695 ≤ n ≤ 9.701). Fehlerbalken repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall. Entnommen aus Kötter & Backhaus 2025, S. 3.*

3.3 Arbeitszeiterfassung als Instrument des Arbeits- und Gesundheitsschutz

Die Ergebnisse der BAuA-Arbeitszeitbefragung 2023 (Backhaus & Kötter 2024) zeigen, dass die Arbeitszeiterfassung in Deutschland mittlerweile weit verbreitet ist und gegenüber den Erhebungen von 2019 und 2021 weiter zugenommen hat (vgl. Abbildung 3). Rund vier Fünftel der abhängig Beschäftigten erfassen ihre Arbeitszeit, überwiegend mithilfe von Arbeitszeitkonten. Besonders deutlich ist der Anstieg bei Beschäftigten mit hochqualifizierten und wissensintensiven Tätigkeiten sowie bei Personen mit Vereinbarungen zu Homeoffice oder Telearbeit. Auch bei der Arbeit von zu Hause aus wird Arbeitszeit inzwischen deutlich häufiger dokumentiert als in den Vorjahren.

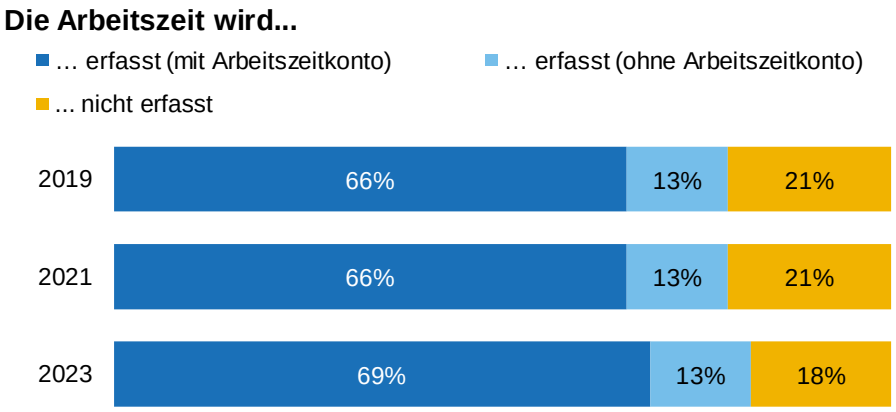


***Abbildung 3**: Verbreitung der Arbeitszeiterfassung 2019 (n = 8.240), 2021 (n = 17.694) und 2023 (n = 9.756). Entnommen aus Backhaus & Kötter 2024, S. 2.*

Die Analysen verdeutlichen darüber hinaus einen klaren Zusammenhang zwischen Arbeitszeiterfassung und zeitlicher Entgrenzung. Beschäftigte, deren Arbeitszeit – insbesondere mithilfe eines Arbeitszeitkontos – erfasst wird, berichten seltener von langen Arbeitszeiten, Überstunden, Wochenendarbeit oder Arbeit in der Freizeit. Zudem gelingt es ihnen häufiger, gedanklich von der Arbeit abzuschalten. Demgegenüber gehen fehlende oder weniger strukturierte Formen der Arbeitszeiterfassung mit stärkerer Entgrenzung einher. Darüber hinaus steht Arbeitszeiterfassung in einem positiven Zusammenhang mit den Flexibilitätsmöglichkeiten der Beschäftigten. Erfasste Arbeitszeiten gehen mit mehr Einfluss auf Arbeitsbeginn und -ende sowie auf das Nehmen von freien Stunden, Urlaub oder freien Tagen einher. Auch bei der Arbeit von zu Hause profitieren Beschäftigte mit dokumentierter Arbeitszeit von größeren Gestaltungsspielräumen. Schließlich zeigen sich Unterschiede in der Zufriedenheit: Beschäftigte mit Arbeitszeiterfassung, insbesondere mit Arbeitszeitkonto, sind etwas zufriedener mit ihrer Arbeitszeit, ihrer Work-Life-Balance und der verfügbaren Freizeit als Beschäftigte ohne Erfassung. Die allgemeine Arbeitszufriedenheit unterscheidet sich hingegen kaum zwischen den Gruppen.

4. Diskussion

Der Beitrag macht deutlich, dass Arbeitszeitgestaltung ein zentraler Einflussfaktor für Gesundheit, Wohlbefinden und Work-Life-Balance ist und in der aktuellen arbeitsmarkt- und sozialpolitischen Debatte nicht isoliert betrachtet werden darf. Die Ergebnisse der BAuA-Arbeitszeitbefragung zeigen, dass lange Arbeitszeiten, Überstunden sowie Diskrepanzen zwischen gewünschter und tatsächlicher Arbeitszeit mit gesundheitlichen Beeinträchtigungen einhergehen und sich diese Diskrepanzen in den letzten Jahren eher vergrößert haben. Somit wächst der Wunsch vieler Beschäftigter nach einer Verkürzung der Arbeitszeit, während politische Bestrebungen teilweise in die entgegengesetzte Richtung zielen. Die Befunde zur Arbeitszeiterfassung unterstreichen zudem deren Bedeutung als Instrument des Arbeits- und Gesundheitsschutzes, da sie mit geringerer Entgrenzung, mehr Flexibilität und höherer Zufriedenheit verbunden ist. Insgesamt liefern die Ergebnisse eine wichtige empirische Grundlage, um aktuelle Reformvorschläge zur Arbeitszeit differenziert zu bewerten und stärker an den Bedürfnissen und der Gesundheit der Beschäftigten auszurichten.

5. Literatur

Backhaus N, Kötter J (2024) Arbeitszeiterfassung, Entgrenzung und Flexibilitätsmöglichkeiten für Beschäftigte: Ergebnisse der BAuA-Arbeitszeitbefragung 2023 (baua: Bericht kompakt). Dortmund / Berlin / Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Zugriff am 07.01.2026 unter https://doi.org/10.21934/baua:berichtkompakt20240507

Backhaus N, Nold J, Entgelmeier I, Brenscheidt F, Tisch A (2023) Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse zu Arbeitszeit und gesundheitlichen Auswirkungen (baua: Fokus). Dortmund / Berlin / Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Zugriff am 07.01.2026 unter https://doi.org/10.21934/baua:fokus20230807

Beckmannshagen M, Sperling A (2024) Durchschnittliche Arbeitszeiten in Deutschland sinken, Gesamtarbeitsvolumen auf Rekordhoch. DIW-Wochenbericht, 91:239-246.

Häring A, Schütz H, Thiele N, Kleudgen M, Nold J, Entgelmeier I, Backhaus N (2024) Methodenbericht und Fragebogen zur BAuA-Arbeitszeitbefragung 2023 (baua: Bericht). Dortmund/Berlin/Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.https://doi.org/10.21934/baua:bericht20240705

Kötter J, Backhaus N (2025) Arbeitszeitwünsche in Deutschland: Verbreitung, gesundheitliche Implikationen und Veränderungsdynamiken (baua: Bericht kompakt). Dortmund / Berlin / Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Zugriff am 07.01.2026 unter https://doi.org/10.21934/baua:berichtkompakt20250714

Kötter J, Entgelmeier I, Nold J (2024) Länge und Lage der Arbeitszeit: Ergebnisse der BAuA-Arbeitszeitbefragung 2023 (baua: Bericht kompakt). Dortmund / Berlin / Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Zugriff am 07.01.2026 unter https://doi.org/10.21934/baua:berichtkompakt20240910

Wunsch und Wirklichkeit bei den Arbeitszeiten Ergebnisse des DGB-Index Gute Arbeit 2025

Rolf SCHMUCKER, Robert SINOPOLI

Institut DGB-Index Gute Arbeit
Keithstr. 1, D-10787 Berlin

Kurzfassung: Arbeitszeiten sind sowohl Rahmen als auch Bestandteil einer menschengerechten Arbeitsgestaltung. Die repräsentative Befragung mit dem DGB-Index Gute Arbeit 2025 belegt ausgeprägte Diskrepanzen zwischen tatsächlicher und gewünschter Arbeitszeit bei den Beschäftigten in Deutschland. Lediglich 40 Prozent der Befragten haben eine Arbeitszeit, die ihren Bedarfen entspricht. Sowohl bei den tatsächlichen als auch bei den gewünschten Arbeitszeiten zeigt sich eine deutliche Geschlechterdifferenz. Verkürzungswünsche sind besonders ausgeprägt bei langen tatsächlichen Arbeitszeiten und bei belastenden Arbeitsbedingungen. Die Präferenzen der Beschäftigten und die Zusammenhänge zu den Arbeitsbedingungen sind bei der Arbeitszeitgestaltung zu berücksichtigen.

Schlüsselwörter: Tatsächliche Arbeitszeit, gewünschte Arbeitszeit, Arbeitszeitdiskrepanz

1. Wunsch und Wirklichkeit bei den Arbeitszeiten in Deutschland

Die Arbeitszeiten der abhängig Beschäftigten in Deutschland haben in den vergangenen Jahren eine erhöhte Aufmerksamkeit erfahren. Das liegt vor allem an zwei Entwicklungen: Zum einen werden veränderte Arbeitszeitpräferenzen der Beschäftigten diskutiert, zum anderen wird im Kontext des demographischen Wandels eine Erschließung von Erwerbspotenzialen durch die Verlängerung von Arbeitszeiten thematisiert. Die Bedeutung des Themas geht jedoch über diese Aspekte hinaus und berührt wesentliche Fragen menschengerechter Arbeitsgestaltung. Arbeitszeiten sind relevant für Gesundheit, Work-Life-Balance, Geschlechtergerechtigkeit und soziale Partizipation (Arlinghaus 2024).

Unter- und Überbeschäftigung als Ausdruck der Diskrepanz zwischen Wünschen und Wirklichkeiten bei den Arbeitszeiten sind schon seit längerem Gegenstand empirischer Betrachtungen (Kötter & Backhaus 2025, Wagner & Sopp 2017, Wanger & Weber 2023). In den verschiedenen Studien zeigt sich – bei allen Abweichungen – grundsätzlich ein Muster: Bei einem großen Anteil der Beschäftigten stimmen Wunsch und Wirklichkeiten nicht überein. Je länger die tatsächliche Arbeitszeit ist, desto verbreiteter ist der Wunsch nach einer Verkürzung. Im Bereich der Teilzeitarbeit findet sich dagegen häufiger der Wunsch nach einer Verlängerung der Arbeitszeit.

In der Befragung mit dem DGB-Index Gute Arbeit wurde das Thema erneut aufgegriffen. Die Angaben zu Arbeitszeiten beruhen auf der Selbstauskunft der Befragten. In der deskriptiven Auswertung werden die tatsächlichen und die gewünschten Arbeitszeiten gegenübergestellt. Zudem wird der Zusammenhang zwischen den Arbeitsbedingungen und den Arbeitszeitwünschen der Beschäftigten betrachtet.

2. Methodik

Für die Befragung mit dem DGB-Index Gute Arbeit wurden im Jahr 2025 4.018 computergestützte, telefonische Interviews (CATI) mit abhängig Beschäftigten in Deutschland geführt. Einbezogen werden nur Arbeitnehmer*innen in der Altersspanne von 15 Jahren bis zum gesetzlichen Renteneintrittsalter. Nicht befragt werden Auszubildende und Selbständige bzw. Freiberufler.

Bei den Ergebnissen zur Arbeitszeit ist zu beachten, dass nur Beschäftigte mit einer wöchentlichen Arbeitszeit von mindestens 10 Stunden befragt wurden. Personen mit einem geringeren Stundenumfang – wie etwa viele geringfügige Beschäftigte – sind in der Auswertung nicht berücksichtigt.

Die Stichprobenziehung erfolgt über eine Zufallsauswahl. Bei der Erhebung wird ein gemischter Festnetz- und Mobilfunksampling-Ansatz genutzt, um auch Beschäftigte zu erreichen, die nur über Mobilfunk zu erreichen sind. In der Stichprobe für das Jahr 2025 wurden 60 Prozent (n=2397) über Festnetz und 40 Prozent (n= 1.621) über Mobilfunk interviewt (DGB-Index Gute Arbeit 2025a).

Zur Optimierung der Datenqualität werden die Antworten entsprechend der Auswahlwahrscheinlichkeiten gewichtet. In einem zweiten Schritt werden für die Gewichtung auch zentrale Kriterien der Erwerbsbevölkerung (Alter, Geschlecht, West/Ost, Bundesland, Leiharbeit, Befristung, Gewerkschaftsmitgliedschaft, berufsqualifizierenden Abschluss, Berufsklassifikation, Branche und Schichtarbeit) herangezogen.

3. Ergebnisse

Die durchschnittliche tatsächliche wöchentliche Arbeitszeit liegt bei 36,3 Stunden. Zwischen Männern und Frauen wird ein deutlicher Unterschied sichtbar. Während Männer durchschnittlich 39,9 Stunden pro Woche arbeiten, sind es bei Frauen 32,3 Stunden. Die durchschnittliche Wochenarbeitszeit von Vollzeitbeschäftigten (mit mindesten 35 Stunden pro Woche) beträgt 41, 4 Stunden, bei Teilzeitbeschäftigten sind es 25,2 Stunden.

Mehr als 70 Prozent der Befragten arbeiten 35 und mehr Stunden pro Woche, d.h. die Teilzeitquote liegt bei knapp 30 Prozent. Bei den Männern arbeiten 89 Prozent in Vollzeit, bei den Frauen sind es etwa 50 Prozent.

3.1 Diskrepanz zwischen Wunsch und Wirklichkeit

In der Befragung sollten die Beschäftigten angeben, wie viele Stunden pro Woche sie arbeiten würden, wenn sie ihre Arbeitszeit selbst bestimmen könnten. Werden die Angaben den tatsächlichen Arbeitszeiten gegenübergestellt, zeigt sich, dass mehr als die Hälfte (53 Prozent) der Befragten ihre Arbeitszeit gerne verkürzen würden. 40 Prozent würden ihre tatsächliche Arbeitszeit beibehalten, sieben Prozent wünschen sich eine Verlängerung (Abb. 1).

***Abbildung 1**: Präferenzen für Veränderungen bei der Arbeitszeit.*

Hinter den Gesamtwerten verbirgt sich ein differenziertes Bild. So sind lange (mehr als 40 bis 48 Stunden pro Woche) und überlange (mehr als 48 Std./W.) tatsächliche Arbeitszeiten in Deutschland weit verbreitet (zusammen 25 Prozent). Sie sind jedoch von den wenigsten Beschäftigten gewünscht. Lediglich sechs Prozent haben eine Präferenz für Wochenarbeitszeiten von mehr als 40 Stunden (Abb. 2). Am häufigsten werden Arbeitszeiten im Bereich „Vollzeit“ (35 bis 40 Std./Woche) gewünscht (45 Prozent), an zweiter Stelle folgt der Bereich „kurze Vollzeit“ (30 bis unter 35 Std./W.).

Deutliche Unterschiede zwischen Männern und Frauen zeigen sich nicht nur bei den tatsächlichen Arbeitszeiten, sondern auch bei Präferenzen. Frauen wünschen sich im Durchschnitt kürzere Arbeitszeiten. Etwa ein Drittel der weiblichen Beschäftigten wünscht sich Arbeitszeiten im Bereich „Vollzeit“ (30 Prozent). Darüberhinausgehende Arbeitszeiten werden von Frauen selten benannt (2 Prozent). Bei den Männern wünschen sich 59 Prozent eine Vollzeittätigkeit, sieben Prozent möchten gerne in „langer Vollzeit“, drei Prozent in „überlanger Vollzeit“ arbeiten.

Komplementär dazu weisen Frauen bei den gewünschten Arbeitszeiten deutlich höhere Anteile im Bereich „kurze Vollzeit“ (29 Prozent) sowie bei der kurzen (24 Prozent) und langen (16 Prozent) Teilzeit auf. Der Anteil der Männer, die sich eine wöchentliche Arbeitszeit von weniger als 30 Stunden wünschen, fällt dagegen mit zwölf Prozent gering aus.

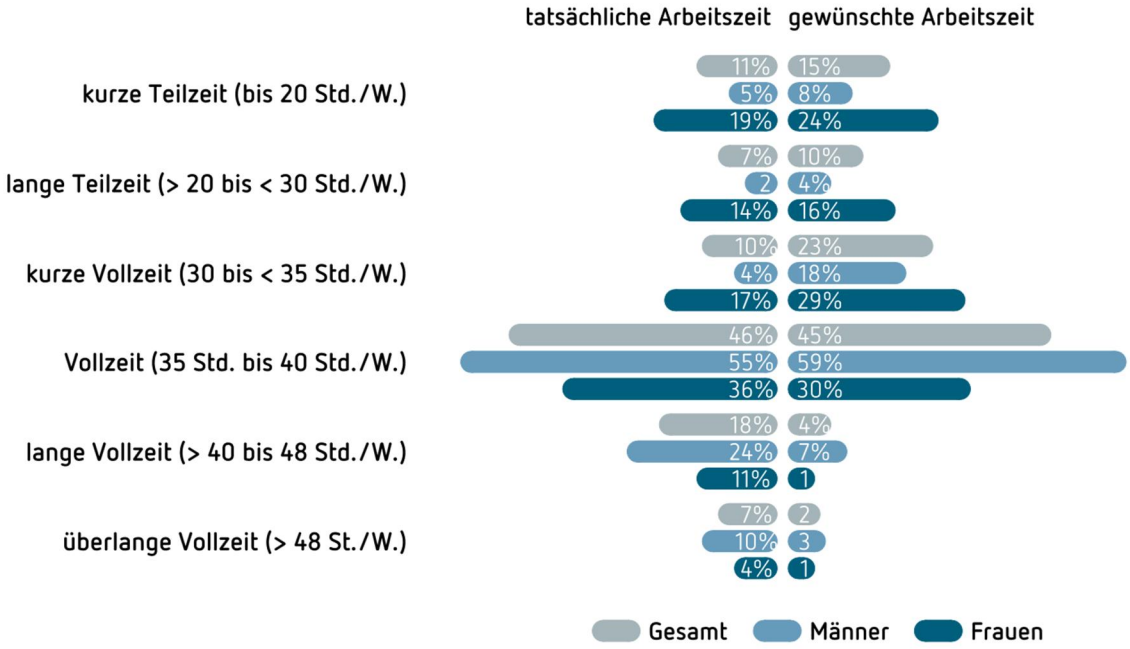


***Abbildung 2**: Tatsächliche und gewünschte Arbeitszeit – Anteile nach Arbeitszeitgruppen.*

Im Durchschnitt aller Befragten ergibt sich der Wunsch nach einer Verkürzung der wöchentlichen Arbeitszeit um 4,2 Stunden. Je länger die tatsächliche Arbeitszeit ist, desto ausgeprägter ist der Verkürzungswunsch. In der Gruppe der Beschäftigten, die

in „kurzer Teilzeit“ (bis 20 Std./W.) arbeiten, liegt die Wunscharbeitszeit im Mittel um 2,2 Stunden über der tatsächlichen Wochenarbeitszeit.

Ein zunehmender Wunsch nach Verkürzung zeigt sich mit steigendem tatsächlichen Arbeitszeitvolumen. In der Gruppe „kurze Vollzeit“ würde die Arbeitszeit durchschnittlich um 2,7 Stunden reduziert. Bei „langer Vollzeit“ sind es im Schnitt 7,2 Stunden. Beschäftigte die „überlange Vollzeit“ von mehr als 48 Stunden pro Woche arbeiten, wünschen sich eine Verkürzung von 14,8 Stunden (DGB-Index Gute Arbeit 2025b).

3.2 Arbeitsqualität und Arbeitszeitpräferenzen

Auffällige Zusammenhänge zu den Arbeitszeitwünschen werden nicht nur bei der Länge der tatsächlichen Arbeitszeit deutlich. Auch die Qualität der Arbeitsbedingungen spielt hier eine große Rolle. In der Befragung mit dem DGB-Index Gute Arbeit wird die Arbeitsqualität anhand von 42 Merkmalen der Arbeitsbedingungen erhoben. Die Befragten geben Auskunft zu den Teilbereichen „Ressourcen“, „Belastungen“ sowie „Einkommen und Beschäftigungssicherheit“. Erfasst wird sowohl das Auftreten der 42 Arbeitsbedingungsmerkmale als auch die von den Beschäftigten in dem jeweiligen Kontext empfundene subjektive Belastung. In einem an den Kriterien menschengerechter Arbeitsgestaltung orientierten Wertzuweisungssystem wird aus den Antworten ein Indexwert zwischen 0 (denkbar schlechteste Arbeitsqualität) und 100 Punkten gebildet. Diese aggregierte Information über die Arbeitsqualität wird in vier Stufen differenziert: Von „schlechter Arbeit“ über ein unteres und oberes Mittelfeld bis hin zum Bereich „Gute Arbeit“ (DGB-Index Gute Arbeit 2025a).

Abbildung 3: *Arbeitsqualität und Arbeitszeitpräferenzen (nach vier Stufen der Arbeitsqualität im DGB-Index Gute Arbeit).*

Der Zusammenhang zwischen der Qualität der Arbeitsbedingungen und den Arbeitszeitpräferenzen der Beschäftigten wird in Abbildung 3 dargestellt. Deutlich wird: Je schlechter die Arbeitsbedingungen bewertet werden, desto ausgeprägter ist der Wunsch nach einer Verkürzung der Arbeitszeit. Bei Beschäftigten mit guten Arbeitsbedingungen würde etwa jede*r dritte Beschäftigte (35 Prozent) eine kürzere Arbeitszeit wählen. Mit sinkender Arbeitsqualität steigt dieser Anteil auf 49 Prozent im oberen Mittelfeld und 58 Prozent im unteren Mittelfeld. Bei Beschäftigten aus dem Bereich schlechte Arbeit, die unter belastenden, ressourcenarmen und/oder unsicheren Bedingungen arbeiten, würden knapp drei Viertel (72 Prozent) ihre wöchentlichen Arbeitszeiten gerne verkürzen.

4. Diskussion

Die deutlichen Diskrepanzen zwischen Wunsch und Wirklichkeit stellen eine Herausforderung für die gesellschaftliche und betriebliche Gestaltung von Arbeitszeiten dar. Die Forderung, Erwerbspotenziale durch eine Verlängerung von Arbeitszeiten zu erschließen, steht im Widerspruch zu den Präferenzen und Bedarfen vieler Beschäftigter.

Die Daten weisen darauf hin, dass auch für die Arbeitszeit die Qualität der Arbeitsbedingungen ein Schlüsselfaktor ist. Arbeitszeitgestaltung basiert folglich nicht allein auf der Definition von Länge und Lage der Arbeitszeit, sondern ist eng mit den Merkmalen menschengerechter Arbeitsgestaltung hinsichtlich Arbeitsinhalten, Belastungssituation, Gestaltungsspielräumen und Entwicklungsmöglichkeiten verknüpft. Hier sind sowohl die arbeits- und gesundheitswissenschaftlichen Erkenntnisse als auch das Interesse der Beschäftigten an einer selbstbestimmten Lebensgestaltung zu berücksichtigen.

5. Literatur

Arlinghaus A (2024) Arbeitszeitgestaltung in Wissenschaft und Praxis. Z. Arb. Wiss (2024) 78:436-446.

DGB-Index Gute Arbeit (2025a) Jahresbericht 2025. Ergebnisse der Beschäftigtenbefragung zum DGB-Index Gute Arbeit 2025. Berlin: Institut DGB-Index Gute Arbeit (Hrsg.).

DGB-Index Gute Arbeit (2025b) Report 2025. Gute Zeiten, schlechte Zeiten? Wie die Beschäftigten ihre Arbeitszeiten bewerten. Berlin: Institut DGB-Index Gute Arbeit (Hrsg.).

Hammermann A, Schäfer H (2024) Arbeitszeitwünsche von jungen Beschäftigten. IW-Kurzbericht 24/2024.

Kötter J, Backhaus N (2025) Arbeitszeitwünsche in Deutschland: Verbreitung, gesundheitliche Implikationen und Veränderungsdynamiken. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.).

Wagner A, Sopp P (2017) Vertragliche, tatsächliche und gewünschte Arbeitszeiten. Berlin: SOEPpapers on Multidisciplinary Panel Data Research 909/2017.

Wanger S, Weber E (2023) Arbeitszeit: Trends, Wunsch und Wirklichkeit. IAB-Forschungsbericht 16/2023. Nürnberg: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesagentur für Arbeit (Hrsg.).

Konzept eines (digitalen) Plausibilitätschecks für die betriebliche Arbeitszeitgestaltung

Ufuk ALTUN, Veit HARTMANN
ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V.
Uerdinger Str. 56, D-40474 Düsseldorf

Kurzfassung: Mit dem (vorliegenden) Konzeptes eines digitalen „Plausibilitätschecks für die betriebliche Arbeitszeitgestaltung“ wird eine methodische Vorgehensweise beschrieben, mit der die Plausibilität von Daten, Informationen, (arbeits)wissenschaftlichen Erkenntnissen, Handlungsfeldern, Potenzialen und Schutzmaßnahmen auf ihre Logik, Realitätsnähe, Machbarkeit und Nachvollziehbarkeit überprüft werden kann, um sicherzustellen, ob und/oder wie betriebliche und menschengerechte Arbeitszeitgestaltung den aktuellen arbeitswissenschaftlichen, rechtlichen und betrieblichen Standards und individuellen Wünschen der Beschäftigten entsprechen können.

Schlüsselwörter: Arbeitszeitgestaltung, Personaleinsatzplanung, Personalbedarf, Vereinbarkeit, Führung, Arbeitsorganisation

1. Ausgangslage

Schon heute sind zahlreiche Unternehmen mit zunehmender Komplexität und wachsenden Herausforderungen im Kontext der Arbeitszeitgestaltung konfrontiert (Jäger-Gammel & Knoblauch 2024). Unserer Erfahrung aus den letzten 25 Betriebsprojekten nach scheitern viele Arbeitszeitprojekte nicht nur ausschließlich an den oben genannten (ungeklärten) Inhalten, sondern auch an folgenden Kriterien:

- **Fehlende Zielklarheit:** vereinbarte Ziele sind unklar (Beispiele: Geht es darum, primär Kosten zu senken? Geht es darum die Zufriedenheit von Kunden oder Beschäftigten zu steigern? Oder geht es allgemein darum die Produktivität erhöhen?). Es herrschen (oft nicht artikulierte) widersprüchliche Erwartungen von Management, HR und Beschäftigten und deren Interessenvertretung, die von den Stakeholdern an ein Arbeitszeitprojekt gestellt werden. Diese Erwartungen sind häufig nicht kongruent und können in Konkurrenz zueinanderstehen.
- **Mangelnde Einbindung von (internen) Experten und Beschäftigten**: Arbeitszeitmodelle werden „top down“ vereinbart und eingeführt, ohne die Konsequenzen wirklich abgeschätzt zu haben, die Anforderungen des Betriebes und die Bedürfnisse der Beschäftigten sind nicht ausreichend erhoben und berücksichtigt worden und führen zu einer geringen Akzeptanz eines neuen Arbeitszeitmodells. Auch das ungeprüfte und nicht modifizierte Adaptieren von Arbeitszeitmodellen, die an anderen Standorten, in anderen Betrieben oder in der Theorie (veröffentlichte Beispiele) erfolgreich umgesetzt worden sind, bringt häufig nicht die gewünschten Effekte hervor.
- **Nicht passende Führungskultur:** Eine flexible Arbeitszeitgestaltung, die sowohl von vielen Beschäftigten als auch von vielen Betrieben befürwortet wird, setzt von den Akteuren ein Mindestmaß an Vertrauen voraus. Dabei kommt den Führungskräften eine besondere Rolle zu. Häufig müssen sie das eigene bisherige Führungsleitbild verändern, damit die positiven Effekte von flexiblen und

selbstorganisierten Arbeitszeiten bei Beschäftigten eintreten (können). Von den Führungskräften wird ein Wandel von einer „Anwesenheitskultur“ zu einer „Ergebniskultur“ erwartet, die maßgeblichen Einfluss auf die Produktivität im Homeoffice (Fraunhofer IAO 2024) haben kann.

- **Unzureichende Planung und Pilotierung:** Für die Beurteilung und Bewertung eines neuen Arbeitszeitmodells sind neben den „harten“ Fakten wie Kennzahlen auch „weiche“ Faktoren wie die Zufriedenheit der Beschäftigten und deren Familien (insbesondere bei Änderung von Schichtmodellen) zu berücksichtigen. Daher sollten neue Arbeitszeitmodelle möglichst in einzelnen Bereichen pilotiert und evaluiert werden, bevor sie auf den ganzen Betrieb ausgerollt werden. Zu bedenken ist ebenfalls, dass neue Arbeitszeitmodelle auch Auswirkungen auf bestehende Prozesse, Kundenbeziehungen oder weitere Schnittstellen haben (können). Ein neues Arbeitszeitmodell ohne Pretest einzuführen, ist daher nur in Einzelfällen ratsam, da die negativen Folgen erheblich sein können. Darüber hinaus ist die Laufzeit eines Pretests von Bedeutung. Nur ein Pretest, der möglichst alle saisonbedingten Schwankungen (z. B. seitens der Kundenanforderungen) inklusive einer vollständigen Urlaubsphase abbildet, liefert brauchbare und belastbare Ergebnisse.
- **Nicht angepasste Arbeitsmenge / nicht angepasste Anzahl Beschäftigter**: Änderungen im Arbeitszeitmodell, die sich auch auf eine Veränderung der wöchentlichen Arbeitszeit beziehen, wie sie in einigen Tarifverträgen als Möglichkeit vorgesehen ist, führen häufig zu der Herausforderung eine veränderte Arbeitszeit und eine veränderte Arbeitsmenge miteinander matchen zu müssen. Hier gilt es im Rahmen einer gesundheitsorientierten Arbeits(zeit)gestaltung ein besonderes Augenmerk auf eine möglichst angepasste Arbeitsmenge zu legen oder durch technische Unterstützung eine bestehende oder vorgegebene Arbeitsmengen zu realisieren. Weiterhin ist darauf zu achten, dass (besonders im Schichtbetrieb und bei den dort angewandten Modellen) bei gleichbleibendem Output, aber einer veränderten Wochenarbeitszeit der Beschäftigten, sich auch die Anzahl der Beschäftigten meist ändert. Für diese Herausforderungen gibt es betriebs- und anwendungsspezifische Lösungen (Einbringschichten, Freischichten, Arbeitszeitkonten etc.). Wichtig ist in diesem Fall, dass sich die betrieblichen Akteure die Veränderungen zunächst vor Augen führen und die Konsequenzen im Blick haben, um zu reagieren.
- **Nicht zu realisierende Vereinbarkeit mit rechtlichen und/oder tariflichen Regelungen:** Nicht alle Arbeitszeitmodelle (inkl. Schichtmodelle), die innerhalb der Europäischen Union, einer Branche, in einem Betrieb umgesetzt werden können, sind auch automatisch in allen anderen Betrieben anwendbar. Vielfach stehen gesetzliche oder tarifliche Regelungen einer einfachen „Übernahme“ entgegen. Selbst unterhalb der Tarifebene ist noch zu beachten, dass viele Unternehmen durch Haustarifverträge eigene formale Regelungen geschaffen haben. Es ist daher von besonderer Bedeutung, dass sich die Akteure eines Arbeitszeitprojektes im Vorfeld mit den formal relevanten Regelungen vertraut machen und so den Diskussionsrahmen bestimmen und eingrenzen.
- **Fehlende Messung und Nachsteuerung (Monitoring, Erfolgskontrolle):** Vielen Betriebsprojekten fehlen messbare und in vielen Fällen auch erreichbare Kennzahlen zur Zielkontrolle, die sich an den jeweiligen Themen der Zielerreichung (z. B. Produktivität, Gesundheit, Zufriedenheit der Beschäftigten, Fluktuation) orientieren (Altun & Hartmann 2024). Probleme, die aus bestehenden Daten bereits bekannt sein könnten, werden oft zu spät erkannt oder die Lösungsansätze gehen

im Tagesgeschäft unter. Darüber hinaus werden Themen nicht fachlich diskutiert und methodisch bewertet (z. B. Reduktion der Anzahl der Nachtschichte versus Verringerung der Zuschläge), was weder der eigentlichen Thematisierung des Problems hilft noch die Kompromissbereitschaft der Betriebsparteien erhöht und somit angepasste Lösungen erschwert.

- **Ungleiche Behandlung von Themen im Betrieb**: Bei der Ausarbeitung und Ausgestaltung von Arbeitszeitmodellen im Betrieb kommt es fast automatisch zu der Situation, dass ein bestimmtes Arbeitszeitmodell nur für ausgewählte Funktionsbereiche, Abteilungen oder Beschäftigtengruppen fokussiert wird. Diese Tatsache ist in den meisten Anwendungsfällen inhaltlich leicht zu begründen (z. B. durch die Notwendigkeit eines vollkontinuierlichen Schichtbetriebes), führt in der Praxis allerdings häufig sowohl zwischen Beschäftigtengruppen als auch innerhalb von Abteilungen zu Spannungen. So hat beispielsweise in vielen Produktionsbetrieben die verbliebene Anwesenheitspflicht (wenn auch in vielen Unternehmen kontaktärmer organisiert) für Produktionsmitarbeitende während der Pandemie im Gegensatz zu den ergriffenen „Homeoffice-Regelungen“ für teils kontroverse Diskussionen gesorgt. Oft fühlten sich hier die Produktionsmitarbeitenden zurückgesetzt und erwarteten andere Formen der Kompensation, da ihr Arbeitsplatz nicht mobil gestaltet werden konnte. Auch ein unklarer und uneindeutiger Umgang mit Vereinbarungen hinsichtlich der Nutzung von „Homeoffice-Tagen“, der entweder auf fehlende Regeln im Betrieb oder unterschiedliche Auslegungen von Führungskräften und Vorgesetzten zurückgeführt werden kann, bieten hier Konfliktpotenzial.

In Zukunft wird es für weitere Unternehmen zunehmend unausweichlich sein, sich diesen Themen offensiv zu stellen. Durch die verschiedenen (und auch wechselnden) Gemengelagen in den Unternehmen und den zunehmend diversen Wünschen der Beschäftigten (z. B. in unterschiedlichen Lebensphasen), ist es notwendig, unterschiedliche Lösungsansätze bzw. die Lösungsansätze so zu gestalten, dass sie passgenau auf die Situation vor Ort abgestimmt sind (ifaa 2022). Insbesondere wenn es um die Erfassung, Überprüfung, Auswertung von betriebsspezifischen Annahmen und Daten geht, aus denen ein passendes sozialpartnerschaftliches Arbeitszeitmodell betriebsspezifisch und strategisch entwickelt und eingeführt werden soll, ist ein Matching und eine Überprüfung der Parameter und Lösungsansätze unabdingbar.

2. Vorhaben

Damit die Flexibilisierung der Arbeitszeit unter Berücksichtigung des Arbeitsschutzes, den betrieblichen Anforderungen und persönlichen Präferenzen der Beschäftigten entsprechen kann, wird mit dem (digitalisierten) Plausibilitätscheck festgestellt, ob betriebliche und außerbetriebliche Daten mit den bekannten Fakten übereinstimmen und in wie weit sie realisierbar sind (z. B. Krankenquote, Qualifikationsmatrix, Erwartungshaltung von Bewerberinnen und Bewerbern) und welche sinnvolle Ablaufstruktur zu wählen ist.

Der Fokus soll dabei auf offensichtlichen Unrichtigkeiten, Wiedersprüchen und möglichen inhaltlichen Konflikten liegen (z. B. was funktioniert besonders gut, was nicht?) und nicht auf einer vollständigen Verifikation der Richtigkeit. Indem die Prioritäten und Handlungsschritte in einer richtigen Reihenfolge definiert und festgelegt werden (z. B. Berücksichtigung von arbeitswissenschaftlichen Empfehlungen bei der Entwicklung von Schichtmodellen, Rolle von Prioritäten),

können u. a. offensichtliche Fehler, fehlende Daten, Widersprüche oder Unstimmigkeiten ermittelt bzw. vermieden werden.

Was wird bei einem Plausibilitätscheck für die betriebliche Arbeitszeitgestaltung überprüft?

Logische Konsistenz (Datensammlung): Es gilt zu überprüfen, welche Daten, Kriterien, Aussagen und Erwartungen vorliegen und unerlässlich sind sowie ob sie in sich stimmig sind.

Exemplarische Fragestellungen können sein:

- Wurde eine detaillierte Kapazitätsplanung durchgeführt und auf welchen Daten basierte diese Planung?
- Leitet sich der Personalbedarf aus einer generellen Kapazitätsplanung ab oder wurde der Personalbedarf seitens der Abteilungen gemeldet?
- Welche Maßnahmen des Arbeitsschutzes sind besonders zu berücksichtigen?
- Welche Aspekte beeinflussen den Arbeitsschutz hier erheblich?
- Sind die Wünsche und Bedarfe der Beschäftigten bekannt und systematisch erhoben?
- Sind die prioritären Kundenanforderungen in die Ausgestaltung des Arbeitszeitmodells mit eingeflossen oder zumindest thematisiert worden?

Realitätsnähe (Datenqualität): Es gilt sicherzustellen, dass die vorliegenden Daten mit der Praxis (z. B. Kapazitätsplanung, Auftragslage) und den betrieblichen Gegebenheiten übereinstimmen, sodass daraus flexible und menschengerechte Arbeitszeitmodelle entwickelt und eingeführt werden können.

Exemplarische Fragestellungen können sein:

- Ist der Stand der Zeitkonten bekannt und so gestaltet, um flexibel auf Auftragsschwankungen reagieren zu können?
- Gibt es saisonale Besonderheiten, die beispielsweise in einem Schichtmodell beachtet werden müssen (z. B. Revisionen oder gesetzliche Vorgaben für die wiederkehrende Reinigung und Wartung der Anlagen)?
- Ist die Beschäftigtenanzahl auf Basis der Kapazitätsberechnung und möglichen (jetzt schon abzusehenden) Schwankungen realistisch?

Machbarkeit: Es gilt festzustellen, ob das Vorhaben mit den arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen, rechtlichen oder wirtschaftlichen Rahmenbedingungen des jeweiligen Unternehmens in Einklang steht.

Exemplarische Fragestellungen können sein:

- Sind sowohl der Bruttobedarf wie der Nettobedarf der Personalbedarfsplanung bekannt und können die betrieblichen Akteure die Unterschiede einordnen?
- Sind die arbeitswissenschaftlichen Kriterien diskutiert und in die Gestaltung integriert worden?
- Ist der Personalbedarf mit der Qualifikationsmatrix verbunden?
- Sind die Besonderheiten eines ggf. vorliegenden Tarifvertrages berücksichtigt (z. B. Ausgleichstage ab einem bestimmten Lebensjahr im Schichtbetrieb)?
- Ab welcher Fluktuationsquote funktioniert das Arbeitszeitmodell nicht mehr und was sind Kompensationsstrategien? Wie wird ein ggf. notwendige Personalreserve vorgehalten?

Nachvollziehbarkeit: Es gilt zu prüfen, ob die vorliegenden Informationen für Beteiligte (z. B. für Führungskräfte, Beschäftigte und Betriebsrat) nachvollziehbar, inhaltlich verständlich und hinsichtlich eines anzustrebenden Kompromisses akzeptabel sind.

Exemplarische Fragestellungen können sein:

- Ist die gemeinsam betrachtete Informations- und Datenbasis für Führungskräfte, Mitarbeitervertretung und Beschäftigte nachvollziehbar und verständlich?
- Gibt es grundsätzliche Verständnisfragen, die noch offen sind?
- Ist die grundsätzliche Zielstellung des Vorhabens allen Akteuren bekannt und wird sie im Rahmen der angestrebten Umsetzung mitgetragen?

Das Konzept des Plausibilitätschecks wird im Jahr 2026 im Rahmen von fünf vereinbarten Betriebschecks (mit dem Schwerpunkt Personaleinsatzplanung) operationalisiert, erprobt und evaluiert. In diesem Rahmen werden eine möglichst breite Anzahl von betrieblichen Themen und Fragestellungen bearbeitet und mit den Unternehmensvertretern und den Betriebs- und Personalräten kritisch beurteilt. Dabei geht es einerseits darum, für die teilnehmenden Unternehmen praxis- und betriebsnahe Lösungen zu entwickeln, andererseits gemeinsam mit den Beteiligten aber auch immer zu reflektieren, welche Inhalte und Ausgestaltungen ein Plausibilitätscheck enthalten muss, um für die betrieblichen Akteurinnen und Akteure direkt anwendbar zu sein. Die über den Jahresverlauf gesammelten Erkenntnisse werden sowohl laufend als auch am Ende des Jahres noch einmal zusammenfassend diskutiert und fließen in die Ausgestaltung des Plausibilitätschecks ein.

3. Fazit

Ziel ist es, mit dem (digitalen) Plausibilitätscheck unter Berücksichtigung der betrieblich verfügbaren Ressourcen und der Wünsche der Beschäftigten einen gemeinsamen Weg im Unternehmen zu finden und die betriebliche Arbeitszeit so zu gestalten, dass sie gleichermaßen

- einen wirtschaftlich effizienten, bedarfsorientierten Personaleinsatz sicherstellt,
- die individuellen Arbeitszeitpräferenzen der Beschäftigten berücksichtigt und
- die physische und psychische Gesundheit von Beschäftigten schützt.

4. Literatur

Altun U, Hartmann V (2024) Produktivität im Homeoffice. Zahlen | Daten | Fakten. ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft, Düsseldorf

Altun U, Hartmann V (2023) Handlungsfelder der aktuellen und zukünftigen Arbeitszeitgestaltung. In: Knappertsbusch I, Wisskirchen G (Hrsg) Die Zukunft der Arbeit - New Work mit Flexibilität und Rechtssicherheit gestalten. Springer Gabler, Wiesbaden, S 99 – 106.

Fraunhofer IAO (2024) Personaleinsatz und Schichtbetrieb flexibilisieren. Schichtbetrieb resilient, effizient und attraktiv gestalten. https://www.iao.fraunhofer.de/de/veranstaltungen/2024/personaleinsatz-und-schichtbetrieb-flexibilisieren-apr.html, zuletzt geprüft am 29.10.2025.

ifaa — Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg) (2022) Herausforderungen bei der Einführung neuer Schichtmodelle. Hinweise und Lösungsansätze. https://www.arbeitswissenschaft.net/fileadmin/Downloads/Angebote_und_Produkte/Checklisten_Handlungshilfen/Checkliste_Schichtmodelle_Formular_final.pdf , zuletzt geprüft am 06.01.2026.

Jäger-Gammel J. H, Knoblauch M (2024) Praktische Hinweise zur Flexibilisierung von Arbeit. In: Flexibilisierung von Arbeit und Personaleinsatz. Springer Verlag.

Pausenplanung als Mittel zur Einhaltung gesetzlicher Pausenvorschriften bei hoher Arbeitslast

Johannes WENDSCHE[1], Andrea LOHMANN-HAISLAH[2], Ina SCHÖLLGEN[2], Anika Daniela SCHULZ[2]

[1] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Fabricestr. 8, D-01099 Dresden
[2] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Nöldnerstraße 40-42, D-10317 Berlin

Kurzfassung: Pausenvorschriften laut Arbeitszeitgesetz sollen Belastungen begrenzen und die Entwicklung beeinträchtigender Beanspruchungsfolgen durch Erholung vorbeugen. Sie werden unter hoher Arbeitsintensität jedoch häufig missachtet. Wir untersuchen, ob hohe quantitative Arbeitsanforderungen zu mehr Verstößen gegen gesetzliche Pausenvorschriften führen und ob dies gesundheitliche Beschwerden begünstigt. Zudem prüfen wir, ob die Planung von Pausen zu Arbeitsbeginn diese Risiken reduziert. In einer Längsschnittbefragung (3 Wellen, Abstand je 6 Monate) von 145 Bürobeschäftigten zeigten sich positive Zusammenhänge zwischen quantitativen Arbeitsanforderungen und Verstößen gegen gesetzliche Pausenvorschriften, die wiederum mit stärkerer Muskelverspannung, jedoch nicht mit erhöhter Erschöpfung verbunden waren. Eine proaktive Pausenplanung zu Arbeitsbeginn schwächte den Zusammenhang zwischen Arbeitsanforderungen und Regelverstößen ab. Die Ergebnisse betonen die Bedeutung der Begrenzung von Arbeitsanforderungen sowie der Planung von Arbeitspausen für die Einhaltung von Arbeitszeitvorschriften und die Beschäftigtengesundheit.

Schlüsselwörter: Arbeitspausen, Arbeitszeit, Erholung, Erschöpfung, Gesundheit.

1. Theoretischer Hintergrund

Arbeitspausen stellen eine zentrale Ressource zur kurzfristigen Erholung während der Arbeit dar. Die gesundheits-, sicherheits- und leistungsförderlichen Wirkungen von Pausen sind gut belegt (Wendsche & Lohmann-Haislah 2018). Das deutsche Arbeitszeitgesetz schreibt daher verbindliche Pausen vor, um die Belastungsdauer zu begrenzen und Erholungsphasen sicherzustellen. Studien zeigen jedoch, dass diese gesetzlichen Regelungen in der betrieblichen Praxis häufig verletzt werden. Pausen werden unterbrochen, verkürzt oder fallen vollständig aus und zwar insbesondere, wenn Beschäftigte hoher Arbeitsintensität ausgesetzt sind (Vieten et al. 2023; Vieten & Wendsche 2024).

Solche quantitative Arbeitsanforderungen entstehen aus der Menge und dem Tempo der zu erledigenden Arbeit und gehen mit körperlicher und psychischer Anstrengung einher (Van Veldhoven 2014). Metaanalysen zeigen deutlich, dass hohe quantitative Anforderungen sowohl die psychische als auch die körperliche Gesundheit beeinträchtigen (Bowling et al. 2015; Stab & Schulz-Dadaczynski 2017).

Paradoxerweise gelingt Beschäftigten Erholung gerade dann am wenigsten, wenn sie aufgrund hoher Belastung eigentlich besonders notwendig wäre (Sonnentag 2018). Dieses Verhalten lässt sich als interessierte Selbstgefährdung beschreiben. Beschäftigte setzen unter hohem Arbeitsdruck das Erreichen kurzfristiger Arbeitsziele über ihre Gesundheit und lassen etwa Pausen ausfallen (Mustafić et al., 2023). Mummentaler et al. (2021) als auch Venz und Wöhrmann (2025), fanden tatsächlich positive Zusammenhänge zwischen quantitativen Anforderungen und dem Ausfall von Pausen bzw. der Verletzung von Pausenvorschriften. Ein Mangel an Pausen hing aber nicht konsistent mit dem Auftreten von Erschöpfung zusammen.

Ein möglicher Schutzfaktor, der verhindern kann, dass Beschäftigte unter hoher Arbeitsbelastung Pausen vernachlässigen, ist die proaktive Pausenplanung. Theorien zur Handlungsregulation sowie zur Ziel- und Intentionsbildung (z. B. Gollwitzer & Sheeran 2025; Hacker 2003; Zacher & Frese 2018) legt nahe, dass konkrete Planung zu einem zielgerichteten Verhalten führen und Handlungsbarrieren reduzieren kann. Die vorliegende Studie adressiert diese Forschungslücke und untersucht den Zusammenhang zwischen quantitativen Arbeitsanforderungen, der Verletzung gesetzlicher Pausenvorschriften und gesundheitlicher Beschwerden. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Frage, ob eine vorausschauende Pausenplanung zu Arbeitsbeginn die negativen Konsequenzen hoher Anforderungen für die Einhaltung der pausenbezogenen Arbeitszeitvorschriften abmildern kann.

Wir prüfen folgende Hypothesen (H): H1. *Höhere quantitative Arbeitsanforderungen gehen mit einer häufigeren Verletzung gesetzlicher Pausenvorschriften einher.* H2. *Eine proaktive Pausenplanung schwächt die positive Beziehung zwischen quantitativen Arbeitsanforderungen und der Verletzung gesetzlicher Pausenvorschriften ab.* H3. *Eine häufigere Verletzung gesetzlicher Pausenvorschriften geht mit mehr gesundheitlichen Beschwerden (Erschöpfung, Muskelverspannungen) einher.*

2. Methoden

Die Daten stammen aus einer dreimaligen schriftlichen Befragung (Abstand je 6 Monate; 12/2020-12/2021) von Bürobeschäftigten in fünf Organisationen aus der Industrie und der öffentlichen Verwaltung. Insgesamt nahmen n = 652 Personen an der ersten Befragung teil (Rücklaufquote: 36 %). 145 Personen (82 % weiblich, 13 % mit Führungsverantwortung, 37 % zwischen 46-55 Jahre) beantworteten alle drei Befragungen vollständig und bilden die Auswertungsstichprobe.

Die Konstrukte wurden überwiegend mit etablierten Skalen erfasst. Quantitative Anforderungen wurden mit vier Items des COPSOQ erhoben (ωs > .82). Pausenplanung wurde mit zwei Items erfasst (rs > .78), die sich auf die Festlegung von Zeitpunkt und Dauer der Pausen zu Arbeitsbeginn beziehen. Verletzungen gesetzlicher Pausenvorschriften wurden durch drei Items aus der BAuA-Arbeitszeitbefragung erhoben, die den Ausfall, die Unterbrechung und Verkürzung von Ruhepausen betreffen (ωs > .68). Erschöpfung wurde mit der OLBI-Skala (8 Items, ωs > .82) und Muskelverspannungen mit einem Symptom-Item aus dem COPSOQ erfasst.

Statistisch wurde ein zweistufiger Ansatz verfolgt. Zunächst wurden Strukturgleichungsmodelle berechnet, die latente Interaktionseffekte zwischen Anforderungen und Pausenplanung berücksichtigen. Anschließend wurden Random-Intercept Cross-

Lagged-Panel-Modelle (RICLP; Hamaker et al. 2015) geschätzt, die Effekte zwischen (interindividuell) und innerhalb (intraindividuell) von Personen trennen und zeitversetzte Zusammenhänge präzise modellieren.

3. Ergebnisse

Das finale Strukturgleichungsmodell (Abbildung 1) zeigt, dass hohe quantitative Anforderungen zum ersten Messzeitpunkt mit häufigeren Verstößen gegen gesetzliche Pausenvorschriften sechs Monate später einhergehen (H1 angenommen). Beschäftigte mit hoher proaktiver Pausenplanung zeigten einen deutlich schwächeren Zusammenhang zwischen Arbeitsanforderungen und Pausenverstößen (H2 angenommen). Pausenverstöße sagten zeitversetzt häufigere Muskelverspannungen, nicht aber mehr Erschöpfung vorher (H3 nur teilweise angenommen).

Die Ergebnisse RICLP-Modelle zeigten darüber hinaus, dass auf interindividueller Ebene („chronische“ Varianzanteile der Variablen über die Messzeitpunkte) alle drei Hypothesen angenommen werden konnten. Auch der Zusammenhang zwischen der Verletzung von Pausenvorschriften und Erschöpfung war nun signifikant positiv. Auf intraindividueller Ebene lassen sich die Hypothesen 1 und 2 annehmen, H3 muss vollständig abgelehnt werden. Der Moderatoreffekt der Pausenplanung ist nur dann signifikant, wenn dieses Konstrukt auf interindividueller Ebene (d. h. durchschnittliches Ausmaß an Planung über 12 Monate) modelliert wird, nicht aber auf intraindividueller Ebene (d. h. Abweichung zu einem Messzeitpunkt vom individuellen Durchschnitt).

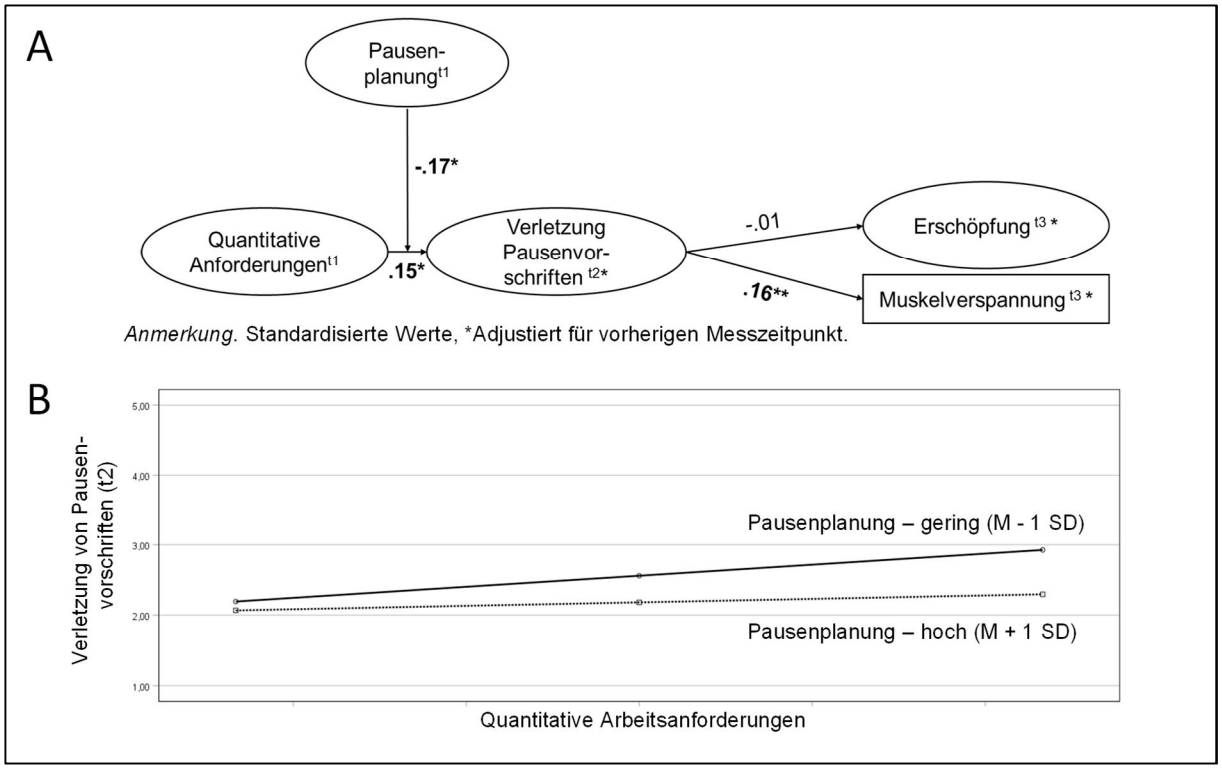


***Abbildung 1**: (A) Ergebnisse der Strukturgleichungsmodellierung und (B) Darstellung der moderierenden Wirkung der Pausenplanung für den Zusammenhang zwischen quantitativen Arbeitsanforderungen und der Verletzung von Pausenvorschriften (6 Monate später).*

4. Diskussion

Die Studie zeigt, dass hohe quantitative Anforderungen das Risiko für die Verletzung von Pausenregeln laut Arbeitszeitgesetz erhöhen. Unter Zeitdruck lassen Beschäftigte Pausen häufiger ausfallen, verkürzen oder unterbrechen sie, was gesundheitlich bedenklich ist, da Pausen eine zentrale Funktion für kurzfristige Erholung erfüllen und neben gesundheitlichen protektiven Wirkungen auch leistungs- und arbeitssicherheitsbezogene Effekte bekannt sind. Die Ergebnisse stützen den Ansatz der interessierten Selbstgefährdung und des „Recovery paradox“, wonach Erholung gerade dann vernachlässigt wird, wenn sie besonders nötig ist.

Besonders hervorzuheben ist die Rolle der Pausenplanung. Beschäftigte, die angeben, dass zu Arbeitsbeginn Pausenzeit und -dauer feststehen, zeigen deutlich weniger anforderungsbedingte Pausenverstöße. Eine proaktive und vorhersehbare Pausenplanung wirkt somit als Schutzfaktor und kann sowohl individuell als auch auf Team- oder Organisationsebene eine gesundheitsfördernde Strategie darstellen. Die Befunde erweitern die Forschung zur Ziel- und Handlungsplanung auf einen Bereich, in dem gesetzliche Vorgaben und psychologische Prozesse eng verzahnt sind.

Gleichzeitig zeigt die Studie, dass gesundheitliche Beschwerden vor allem dann entstehen, wenn Pausenverstöße und damit ein Mangel an Erholung chronisch auftreten. Körperliche Beschwerden, insbesondere Muskelverspannungen, scheinen Ausdruck längerfristig unausgewogener Belastungs-Erholungszyklen zu sein. Die Studie hat auch Limitationen. Die Erhebung fand während der COVID-19-Pandemie statt, wodurch zusätzliche Stressoren die Ergebnisse beeinflusst haben könnten. Zudem umfasst die Stichprobe nur Bürobeschäftigte. Zukünftige Forschung sollte weitere Berufsgruppen einbeziehen, insbesondere solche mit Interaktionstätigkeiten, in denen Pausenplanung häufig mit Service- und Dienstleistungsregeln kollidiert. Insgesamt liefert die Studie Hinweise, wie Arbeitsanforderungen, Pausenverhalten und Gesundheit zusammenhängen und wie proaktive Pausenplanung schützen kann.

5. Literatur

Bowling NA, Alarcon GM, Bragg CB, Hartman MJ (2015) A meta-analytic examination of the potential correlates and consequences of workload. Work & Stress 29:95-113.

Gollwitzer PM, Sheeran P (2025) Psychology of planning. Annual Review of Psychology 76:303-328.

Hacker W (2003) Action regulation theory: A practical tool for the design of modern work processes? European Journal of Work and Organizational Psychology 12:105-130.

Hamaker EL, Kuiper RM, Grasman RPPP (2015) A critique of the cross-lagged panel model. Psychological Methods 20:102-116.

Mumenthaler J, Knecht M, Krause A (2021) Short term effects of workload and extending working hours on exhaustion. Psychology of Everyday Activity 14:19-28.

Mustafić M, Dorsemagen C, Baeriswyl S, Knecht M, Krause A (2023) Wie gefährden Beschäftigte ihre Gesundheit? Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie 67:173-187.

Sonnentag S (2018) The recovery paradox: Portraying the complex interplay between job stressors, lack of recovery, and poor well-being. Research in Organizational Behavior 38:169-185.

Stab N, Schulz-Dadaczynski A (2017) Arbeitsintensität: Ein Überblick zu Zusammenhängen mit Beanspruchungsfolgen und Gestaltungsempfehlungen. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 71:14-25.

Van Veldhoven M (2014) Quantitative job demands. In: Peeters M, De Jonge J, Taris T (Eds) An introduction to contemporary work psychology. Wiley Blackwell, pp 117-143.

Venz L, Wöhrmann AM (2025) Maladaptive working time strategies and exhaustion: A daily diary study on violating breaks, working faster, and working overtime. sozialpolitik.CH 1:1-2.

Vieten S, Wöhrmann AM, Wendsche J, Michel A (2023) Employees' work breaks and their physical and mental health: Results from a representative German survey. Applied Ergonomics 110:103998.

Vieten S, Wendsche J (2024) Ausfall von Ruhepausen in Deutschland – Verbreitung und Auswirkungen auf die Erholung, Gesundheit und Zufriedenheit von Beschäftigten. baua: Bericht kompakt. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Wendsche J, Lohmann-Haislah A (2018) Arbeitspausen gesundheits- und leistungsförderlich gestalten. Göttingen: Hogrefe.

Zacher H, Frese M (2018) Action regulation theory: Foundations, current knowledge and future directions. In: Ones DS, Anderson N, Viswesvaran C, Sinangil HK (Eds) The SAGE handbook of industrial, work & organizational psychology: Organizational psychology. Sage Reference, pp 122-144.

Digitale Qualifizierung und KI-gestützte Tätigkeitserkennung im Bau von Photovoltaik-Großanlagen – Praxisbeitrag eines industriellen Anwendungspartners im Projekt Quincy

Gordon HEMMING, Patrick CLEMENS, Linda SCHERER

Meiser Solar GmbH, Prof.-Pirlet-Straße 35, D-66679 Losheim

Kurzfassung: Der Bau von Photovoltaik-Freiflächenanlagen ist durch Fachkräftemangel, hohe Anforderungen an die Ausführungsqualität sowie lange Einarbeitungszeiten geprägt. Digitale Werkzeuge unterstützen Montageprozesse bislang überwiegend dokumentierend, während die eigentliche Ausführung weiterhin stark auf Erfahrungswissen basiert. Das Verbundprojekt Quincy – Qualification Innovation through Network Collaboration and Technology adressiert diese Herausforderung, indem digitale Unterstützungs- und Qualifizierungsansätze arbeitsnah in Montageprozesse integriert werden. Der vorliegende Beitrag fokussiert die Perspektive eines industriellen Anwendungspartners, der reale Baustellenumgebungen, praktische Montageerfahrung und prozessuales Wissen in das Projekt einbringt. Ziel ist es, aufzuzeigen, welchen Beitrag diese Anwendungsperspektive zur anforderungsorientierten Ausgestaltung und praxisnahen Erprobung digitaler Unterstützungsansätze leisten kann. Zudem werden erste Beobachtungen aus der Montagepraxis sowie erwartete Wirkungen in Bezug auf Qualifizierung, Qualitätssicherung und Arbeitserleichterung diskutiert.

Schlüsselwörter: Montageprozesse, Digitale Unterstützung, arbeitsbegleitende Qualifizierung, Photovoltaik-Großanlagen, Anwendungspartner

1. Einleitung

Der schnelle Ausbau erneuerbarer Energien gilt als zentrale Voraussetzung zur Erreichung nationaler und europäischer Klimaziele (Europäische Kommission 2019; IEA 2023). Insbesondere Photovoltaik-Freiflächenanlagen leisten aufgrund ihrer Skalierbarkeit einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der erneuerbaren Stromerzeugung. Mit dem zunehmenden Projektvolumen im Photovoltaik-Großanlagenbau verdichten sich jedoch auch die strukturellen Herausforderungen bei der Umsetzung solcher Vorhaben. Neben logistischen und organisatorischen Anforderungen rückt insbesondere der Mangel an qualifizierten Arbeitskräften zunehmend in den Fokus (Hauptverband der Deutschen Bauindustrie 2022). Montageprozesse im Freien sind körperlich anspruchsvoll, witterungsabhängig und erfordern eine hohe Ausführungsqualität, um die langfristige Stabilität, Sicherheit und Leistungsfähigkeit der Anlagen zu gewährleisten (BAuA 2020). Gleichzeitig werden Montageprozesse im Photovoltaik-Großanlagenbau bislang nur begrenzt digital unterstützt. Digitale Technologien kommen vorwiegend in der Planung, Projektsteuerung und im Anlagenbetrieb zum Einsatz. Die eigentliche Montagearbeit basiert hingegen weiterhin stark auf implizitem Erfahrungswissen. Neue oder ungelernte Arbeitskräfte werden überwiegend mündlich eingewiesen, was zu hohen

Fehlerquoten, Nacharbeiten und verlängerten Bauzeiten führt. Diese Situation wird durch internationale Teams, eine hohe Fluktuation und zeitlichen Druck auf Baustellen noch verschärft. Vor diesem Hintergrund adressiert das Projekt „Quincy – Qualification Innovation through Network Collaboration and Technology“ die Frage, wie digitale Assistenz- und Lernansätze arbeitsnah in Montageprozesse integriert werden können, um eine strukturierte, arbeitsbegleitende Qualifizierung zu unterstützen. Der vorliegende Beitrag fokussiert dabei bewusst die Perspektive eines industriellen Anwendungspartners, der seine praktische Montageexpertise, reale Baustellenumgebungen sowie sein prozessuales Erfahrungswissen in das Projekt einbringt. Ziel ist es, aufzuzeigen, welchen Beitrag diese Anwendungsperspektive zur anforderungsorientierten Ausgestaltung und praxisnahen Erprobung eines digitalen Assistenz- und Qualifizierungssystems leisten kann

2. Stand der Technik und Forschungsbedarf

Im Photovoltaik-Anlagenbau ist der Stand der Technik durch den Einsatz zahlreicher digitaler Werkzeuge geprägt, die jedoch überwiegend administrative und dokumentierende Funktionen erfüllen (McKinsey Global Institute 2017; VDI 2020). Digitale Montageanleitungen oder Schulungsvideos unterstützen zwar die Nachvollziehbarkeit von Arbeitsschritten, greifen aber nicht aktiv in den laufenden Arbeitsprozess ein. Eine automatisierte Erkennung von Tätigkeiten und eine Bewertung der Ausführungsqualität in Echtzeit fehlen insbesondere. In industriellen Produktionsumgebungen zeigen bestehende Arbeiten, dass digitale Assistenzsysteme genutzt werden können, um Tätigkeiten zu erfassen, Arbeitsabläufe zu strukturieren und Rückmeldungen zum Prozessgeschehen bereitzustellen (Buxbaum-Conradi & Kopp 2018; Spath et al. 2013). Im Bauwesen sind solche Ansätze jedoch bislang kaum verbreitet (McKinsey Global Institute 2017; VDI 2020). Die Gründe hierfür liegen in der hohen Variabilität der Arbeitsumgebung, den wechselnden Licht- und Wetterbedingungen sowie der geringen Standardisierung von Arbeitsabläufen auf Baustellen. Aus arbeitswissenschaftlicher und anwendungsbezogener Perspektive besteht zugleich ein zunehmender Bedarf an digitalen Unterstützungssystemen, die Qualifizierung, Ergonomie und Arbeitssicherheit im Montageprozess miteinander verbinden und dabei unter realen Baustellenbedingungen einsetzbar sind (BAuA 2020; Buxbaum-Conradi & Kopp 2018). Für industrielle Anwendungspartner ergibt sich daraus insbesondere die Herausforderung, praxistaugliche und akzeptierte Assistenzlösungen zu entwickeln, die in bestehende Arbeitsabläufe integrierbar sind und einen nachvollziehbaren Beitrag zur Qualitätssicherung und Kompetenzentwicklung leisten. An dieser Schnittstelle zwischen bestehender Praxis, arbeitswissenschaftlichen Anforderungen und technologischen Möglichkeiten setzt das Projekt „Quincy“ an.

3. Projektkontext und Rolle des industriellen Anwendungspartners

Der industrielle Anwendungspartner im Projekt „Quincy“ ist ein Hersteller von Photovoltaik-Unterkonstruktionen mit eigener Entwicklung, Produktion sowie umfangreicher Erfahrung in der Montage von Freiflächenanlagen. Durch seine enge Einbindung in laufende Bauprojekte verfügt der Anwendungspartner über direkten Zugang zu realen Montageprozessen, typischen Arbeitsabläufen sowie

wiederkehrenden Fehler- und Störquellen in der praktischen Ausführung. Im Projekt bringt der Anwendungspartner diese Praxisexpertise insbesondere durch die Bereitstellung realer Baustellenumgebungen sowie durch die Mitwirkung an der anwendungsnahen Ausgestaltung und Erprobung digitaler Assistenz- und Qualifizierungsansätze ein. Die Erhebung von prozessbegleitenden Video- und Sensordaten erfolgt im Rahmen realer Montagearbeiten und dient dazu, praxisrelevante Anforderungen, Randbedingungen und Nutzungsszenarien abzuleiten. Die Auswahl relevanter Montagetätigkeiten, die Beschreibung qualitätsrelevanter Merkmale sowie die Einordnung typischer Abweichungen erfolgen aus der Perspektive der praktischen Anwendung und in enger Abstimmung mit den wissenschaftlichen Projektpartnern. Der Anwendungspartner übernimmt dabei keine methodische Entwicklung, sondern stellt sicher, dass die betrachteten Prozesse, Daten und Kriterien die reale Baustellenpraxis realitätsnah abbilden. Ergänzend bewertet der Anwendungspartner die praktische Umsetzbarkeit und Übertragbarkeit der im Projekt erarbeiteten Ansätze aus betrieblicher Sicht. Dabei fließen insbesondere praxisrelevante Aspekte wie Einarbeitungsaufwand, Fehleranfälligkeit, Nacharbeitsbedarf sowie Auswirkungen auf die Prozessstabilität und den Montageablauf ein.

4. Methodik

Die methodische Vorgehensweise im Projekt „Quincy“ ist iterativ angelegt und konsequent an realen Montageprozessen im Photovoltaik-Großanlagenbau ausgerichtet. Das Ziel besteht darin, praxisnahe Anforderungen und Gestaltungsprinzipien für digitale Unterstützungsansätze abzuleiten, die unter realen Baustellenbedingungen einsetzbar sind. Ausgehend von bestehenden Montageabläufen werden zentrale Tätigkeiten und Arbeitsschritte strukturiert beschrieben und in Teilabschnitte des Prozesses gegliedert. Diese Prozessbeschreibungen basieren auf der praktischen Erfahrung des industriellen Anwendungspartners und bilden die Grundlage für die weitere projektbezogene Analyse und Erprobung. Der Fokus liegt dabei auf typischen Arbeitsabläufen, wiederkehrenden Prozessvarianten sowie qualitäts- und sicherheitsrelevanten Aspekten der Montage. Im Rahmen realer Montagearbeiten werden prozessbegleitend Video- und Sensordaten erhoben, um Bewegungsabläufe, Werkzeugnutzungen und zeitliche Abfolgen unter authentischen Baustellenbedingungen abzubilden. Der industrielle Anwendungspartner bringt hierbei insbesondere seine Expertise zur Auswahl repräsentativer Tätigkeiten, zur Einordnung typischer Abweichungen sowie zur Beschreibung praxisrelevanter Randbedingungen ein. Die technische Aufbereitung, Auswertung und algorithmische Verarbeitung der Daten erfolgt durch die wissenschaftlichen Projektpartner. Parallel dazu werden im Projekt unterschiedliche Ansätze zur digitalen Unterstützung von Montageprozessen untersucht. Diese zielen darauf ab, arbeitsbegleitendes Lernen zu fördern und qualitäts- sowie sicherheitsrelevante Aspekte im Montageprozess transparenter zu machen. Die konkrete Ausgestaltung der Unterstützung, die eingesetzten Endgeräte und die Interaktionsformen sind Gegenstand der laufenden Projektarbeit und werden gemeinsam im Projektverbund erarbeitet und erprobt.

5. Erste Ergebnisse und erwartete Wirkungen

Die bisherigen projektspezifischen Erhebungen und Beobachtungen aus der Montagepraxis deuten darauf hin, dass zentrale Montageprozesse im Photovoltaik-Großanlagenbau trotz variabler Rahmenbedingungen sehr wiederholbar sind. Aus Anwendungssicht lassen sich insbesondere wiederkehrende Arbeitsschritte sowie typische Abweichungen im Montageablauf identifizieren, die für qualitätssichernde Maßnahmen relevant sind. Diese Beobachtungen legen nahe, dass strukturierte, prozessbegleitende Unterstützungsansätze grundsätzlich geeignet sein könnten, Montageabläufe transparenter zu gestalten und die Beschäftigten im Arbeitsprozess gezielt zu unterstützen. Erste Rückmeldungen aus der arbeitswissenschaftlichen Begleitung des Projekts weisen darauf hin, dass insbesondere neue oder angelernte Arbeitskräfte von klar strukturierten Informationen und orientierenden Hinweisen im Montageprozess profitieren können. Aus Anwendungsperspektive wird erwartet, dass digitale Unterstützungsansätze langfristig dazu beitragen können, Unsicherheiten im Arbeitsablauf zu reduzieren und die Ausführungsqualität zu stabilisieren. Darüber hinaus werden positive Effekte auf die Einarbeitungszeit sowie auf die ergonomische Gestaltung von Montagearbeiten angenommen. Die tatsächlichen Wirkungen und deren Ausprägung sind Gegenstand der weiteren Projektarbeit und werden im Projektverlauf weiter untersucht.

6. Diskussion

Aus Sicht des industriellen Anwendungspartners zeigen die bisherigen Projekterfahrungen, dass sich digitale Unterstützungsansätze grundsätzlich eignen, um Montageprozesse im Photovoltaik-Großanlagenbau praxisnah zu strukturieren und die Beschäftigten im Arbeitsprozess zu unterstützen. Für eine erfolgreiche Einführung in die Montagepraxis sind Akzeptanz und Alltagstauglichkeit jedoch entscheidend. Digitale Unterstützung darf nicht als Kontrollinstrument wahrgenommen werden, sondern muss eindeutig als Hilfe zur Arbeitserleichterung, Qualitätssicherung und Qualifizierung positioniert sein. Zudem ist eine einfache Integration in bestehende Montageabläufe unter realen Baustellenbedingungen erforderlich.

7. Fazit und Ausblick

Der Beitrag verdeutlicht die Rolle industrieller Anwendungspartner bei der praxisnahen Ausgestaltung digitaler Unterstützungsansätze für Montageprozesse im Photovoltaik-Großanlagenbau. Durch die Einbringung realer Baustellenumgebungen, praktischer Montageerfahrung und prozessualen Wissens trägt der Anwendungspartner dazu bei, Anforderungen, Randbedingungen und Nutzungsperspektiven frühzeitig zu berücksichtigen. Die bisherigen Projekterfahrungen zeigen aus Anwendungssicht, dass digitale Unterstützungsansätze grundsätzlich das Potenzial besitzen, Qualifizierung, Qualitätssicherung und Arbeitserleichterung im Montageprozess zu unterstützen, sofern sie praxistauglich gestaltet und akzeptiert werden. Zukünftige Projektaktivitäten werden sich darauf konzentrieren, die Praxistauglichkeit und Übertragbarkeit der betrachteten Ansätze unter unterschiedlichen Einsatzbedingungen weiter zu erproben.

8. Literatur

BAuA – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2020) Belastungen und Beanspruchungen im Baugewerbe. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Buxbaum-Conradi S & Kopp R (2018) Digitale Assistenzsysteme in der Produktion. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Europäische Kommission (2019) The European Green Deal. Brüssel: European Commission.

Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (2022) Fachkräftebedarf im Baugewerbe. Berlin: Hauptverband der Deutschen Bauindustrie.

International Energy Agency (IEA) (2023) Renewables 2023 – Analysis and forecast to 2028. Paris: International Energy Agency.

McKinsey Global Institute (2017) Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity. McKinsey & Company.

Spath D, Ganschar O, Gerlach S, Hämmerle M, Krause T & Schlund S (2013) Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer Verlag.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2020) Digitalisierung im Bauwesen – Herausforderungen und Potenziale. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.

So lernt die Baustelle mit: Wie KI und adaptive Lernplattformen die Baupraxis revolutionieren

Farzaneh NOROUZINIA, Jannik LOEBER,
Malgorzata KOMOROWSKA, Thomas BLEISTEIN

August-Wilhelm Scheer Institut für digitale Produkte und Prozesse gGmbH
Uni Campus Nord D 5 1, D-66123 Saarbrücken

Kurzfassung: Der Ausbau großer Photovoltaikanlagen erfordert neue Ansätze zur Qualifizierung von Arbeitskräften und zur Unterstützung von Arbeitsprozessen unter realen Baustellenbedingungen. Das Projekt Quincy adressiert diesen Bedarf durch KI-gestützte Verfahren zur sensorbasierten Tätigkeitserkennung und deren Integration in eine adaptive Lernplattform. Ziel ist die kontextsensitive Unterstützung von Arbeits- und Lernprozessen in der Praxis. Der Beitrag skizziert die konzeptionellen und methodischen Grundlagen sowie die erwarteten wissenschaftlichen und praktischen Mehrwerte des Teilvorhabens.

Schlüsselwörter: Tätigkeitserkennung, adaptive Lernplattformen, Baustellenpraxis, Photovoltaikanlagen

1. Einleitung

Beim Ausbau erneuerbarer Energien bestehen derzeit einige Herausforderungen, insbesondere vor dem Hintergrund des Fachkräftemangels und der begrenzten Verfügbarkeit Qualifizierungs- und Unterstützungslösungen. Zugleich eröffnen technologische Entwicklungen in der sensorbasierten Erfassung von Arbeitsbewegungen und der datenbasierten Analyse von Tätigkeiten neue Möglichkeiten zur Unterstützung von Arbeits- und Lernprozessen in realen Baustellenumgebungen.

Vor diesem Hintergrund beschreibt das vorliegende Paper die wissenschaftlichen Grundlagen und methodischen Ansätze des Teilvorhabens des August-Wilhelm Scheer Institut (AWSi) im Projekt Quincy und skizziert die angestrebten Beiträge zur Gestaltung arbeitsnaher Qualifizierungs- und Unterstützungskonzepte.

2. Hintergrund und Stand der Forschung

2.1 Tätigkeitserkennungssysteme

Die automatisierte Erkennung menschlicher Tätigkeiten ist in den vergangenen Jahren zu einem zentralen Forschungsfeld der Human Activity Recognition (HAR) geworden. Vor allem körpergetragene Sensorik wie Inertial Measurement Units (IMUs), Smartphones und Wearables werden häufig eingesetzt, da sie zuverlässige Bewegungsdaten erfassen. Studien zeigen, dass sowohl Einzelgeräte als auch kombinierte Sensorkonzepte robuste Ergebnisse erzielen, wobei multimodale Ansätze besonders hohe Genauigkeiten erreichen (Rahn et al. 2021; Prathivadi et al. 2020; Zhang et al. 2018). Kamerabasierte Systeme bieten eine reichhaltige visuelle

Informationsbasis und profitieren von der Kombination mehrerer Perspektiven, insbesondere wenn Körperteile verdeckt sind oder komplexe Bewegungen auftreten (Jang et al. 2023).

Neben klassischen IMU- und Kameraansätzen wurden auch domänenspezifische Sensorkonzepte untersucht. Hochpräzise IMU-Systeme ermöglichen durch Sensorfusion, verstanden als kombinierte Auswertung mehrerer Sensorkanäle, eine sehr genaue Bewegungsverfolgung und lassen sich flexibel mit mobilen Endgeräten koppeln (Chakravarthi et al. 2022; Sopidis et al. 2022).

Für feinmotorische Tätigkeiten kommen Elektromyographie- (EMG-) und Vibrationssensoren zum Einsatz, die Muskelaktivität und Handbewegungen erfassen, wenngleich sich viele Arbeiten bislang auf Gesten statt auf Ganzkörperbewegungen konzentrieren (Georgi et al. 2020; Siddiqui & Chan 2020; Lu 2022). Werkzeuggestützte Systeme wie intelligente Schraubwerkzeuge erlauben darüber hinaus eine direkte Klassifikation einzelner Arbeitsschritte über Daten wie Drehmoment oder Anpressdruck (Cheng et al. 2018).

Untersuchungen zur Aktivitätserkennung mit einem Smartphone-Mikrofon und einem Geophon zeigen, dass auch minimalinvasive, bodenbasierte Sensorik präzise Bewegungsdaten im Außenbereich liefert, jedoch bisher kaum in baustellenähnlichen, stark dynamischen Szenarien erprobt wurde (Choudhary et al. 2021).

Ein weiterer Forschungsstrang untersucht integrierte Wearables wie smarte Schutzhelme mit eingebauter Kamera, Mikrofonen und IMU-Sensoren, die Videos aus Sicht des Arbeiters aufnehmen, Standort per GPS anzeigen, Sicherheitsrisiken erkennen und Sprachkommunikation ermöglichen (Rao 2022). Trotz technischer Vorteile bestehen jedoch Herausforderungen hinsichtlich Datenschutzes, Tragekomfort und Akzeptanz.

2.2 Lernplattformen und Kompetenzförderung in der Baupraxis

Digitale Lernplattformen sind in der Bau- und Solarbranche verbreitet und werden unter anderem von kommerziellen und institutionellen Anbietern bereitgestellt. Die angebotenen Formate umfassen Online-Kurse, simulationsgestützte Trainings und Präsenzschulungen und richten sich vor allem an Fachkräfte und Auszubildende (TÜV Rheinland Akademie, o. J.; Fraunhofer ISE, o. J.). Die Interaktion beschränkt sich dabei meist auf wissensbasierte Formate, während eine direkte Kopplung an reale Arbeitsprozesse auf Baustellen selten erfolgt.

Insbesondere fehlt bislang die systematische Integration von Echtzeit-Sensordaten in Lernplattformen, um zeitnahes Feedback oder adaptive Lernmechanismen zu ermöglichen. Zudem werden viele Systeme unter kontrollierten Laborbedingungen evaluiert, sodass ihre Robustheit und Praxistauglichkeit in dynamischen Baustellenumgebungen nur unzureichend untersucht sind (Jang et al. 2023; Choudhary et al. 2021; Rao et al. 2022).

2.3 Mensch-Technik-Interaktion und adaptive Assistenzsysteme

Aktuelle Forschungsarbeiten zur Mensch–Technik–Interaktion untersuchen adaptive Assistenzsysteme, die auf der automatisierten Erfassung von Arbeitsprozessen basieren und durch kontextbezogene Informationen, visuelles Feedback oder Schritt-für-Schritt-Anleitungen bereitstellen. Insbesondere im Bau- und Industriekontext zeigen kamerabasierte und Wearable Systeme Potenzial zur Reduktion kognitiver Belastung, zur Fehlervermeidung sowie zur Unterstützung

unerfahrener Arbeitskräfte (Jang et al. 2023, Rao et al. 2022). Gleichzeitig bestehen Herausforderungen hinsichtlich der Robustheit der eingesetzten Sensorik, sowie der zuverlässigen Erfassung von Aktivitäten in dynamischen Arbeitsumgebungen (Choudhary et al. 2021).

3. Projektkontext und Ziele des Teilvorhabens

Das Verbundprojekt Quincy verfolgt das Ziel, den Aufbau großer Photovoltaikanlagen durch digitale Technologien effizienter, sicherer und qualitativ hochwertiger zu gestalten. Damit adressiert das Projekt sowohl den Fachkräftemangel im Bauwesen als auch den Bedarf an einer praxisnahen und nachhaltigen Digitalisierung von Baustellenprozessen.

Das Projekt Quincy wird von einem interdisziplinären Konsortium aus Forschung und Praxis umgesetzt. Beteiligt sind das Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) als wissenschaftliche Leitung, der Praxispartner Meiser Solar, der Expertise und Probanden für Datenerhebung und Validierung bereitstellt, das AWSi mit wissenschaftlichen und technologischen Beiträgen sowie die Universität Kassel, die arbeitswissenschaftliche und ergonomische Perspektiven einbringt.

Das Teilvorhaben des AWSi fokussiert sich auf die Entwicklung eines Prototyps, der KI-basierte Tätigkeitserkennung mit einer adaptiven Lernplattform verbindet. Ziel ist es, insbesondere ungelernte Arbeitskräfte beim Aufbau von großer Photovoltaikanlagen durch kontextsensitive Anleitung und datengestützte Rückmeldungen zu unterstützen. Das Teilvorhaben umfasst hierzu eine systematische Anforderungsanalyse, die Auswahl geeigneter Sensortechnologien, die Entwicklung und Evaluation von Erkennungsmodellen sowie die didaktische und technische Konzeption der Lernplattform. Der wissenschaftliche Schwerpunkt liegt auf der Untersuchung, wie sensorbasierte Tätigkeitserkennung und adaptive Lernmechanismen unter realen Baustellenbedingungen zuverlässig integriert werden können und damit praxisnahe, übertragbare Qualifizierungs- und Assistenzkonzepte ermöglichen.

4. Methodisches Vorgehen

Das methodische Vorgehen kombiniert systematische Analyse, vergleichende Modellierung und prototypische Entwicklung, um robuste Verfahren zur Tätigkeitserkennung zu identifizieren und in eine adaptive Lernumgebung für den Baustelleneinsatz zu integrieren. Ziel ist es, zentrale wissenschaftliche Herausforderungen der Aktivitätserkennung, Mensch-Technik-Interaktion und arbeitsnahen Qualifizierung unter realen Außenbedingungen zu adressieren.

Zur wissenschaftlichen Fundierung wurde eine systematische Literaturrecherche in wissenschaftliche Datenbanken durchgeführt. Die ausgewählten Arbeiten bilden die Grundlage für die Ableitung geeigneter Sensortechnologien, Modellierungsansätze und Anforderungen an Lernplattformen. Dadurch wird das Problem einer bislang fragmentierten Betrachtung von Sensorik, KI-Modellen und Lernsystemen im Baukontext gezielt adressiert.

Ergänzend wurde eine strukturierte Analyse bestehender Sensor- und Assistenzsysteme anhand definierter Kriterien wie Messgenauigkeit, Robustheit, Integrationsfähigkeit und Praxistauglichkeit. Diese Analyse ermöglicht eine fundierte

Auswahl minimal-invasiver und zugleich zuverlässiger Sensorkonzepte für dynamische Baustellenumgebungen.

Die Datenerfassung erfolgt schrittweise, wobei unterschiedliche Sensortypen und Sensorplatzierungen systematisch verglichen werden. Damit wird die wissenschaftliche Fragestellung untersucht, welche Sensorkombinationen eine ausreichende Erkennungsgenauigkeit bei gleichzeitig vertretbarem Aufwand liefern. Dabei orientieren wir uns an Studien, die verschiedene Sensorplatzierungen vergleichen (Rahn et al. 2021; Prathivadi et al. 2020).

Die Entwicklung der Tätigkeitserkennung basiert auf einem vergleichenden Modellierungsansatz. Verschiedene Modellklassen werden hinsichtlich Genauigkeit, Robustheit, und Echtzeitfähigkeit bewertet. Dieser Ansatz trägt dazu bei, die bislang offene Frage zu klären, welche Modelltypen für körperlich anspruchsvolle Tätigkeiten im Außenbereich besonders geeignet sind.

Parallel werden technische und didaktische Anforderungen an eine adaptive Lernplattform definiert und prototypisch umgesetzt. Die Integration der Tätigkeitserkennung in bestehende Plattformarchitekturen erlaubt es, kontextsensitive Rückmeldungen direkt an reale Arbeitshandlungen zu koppeln und damit Lernen und Arbeiten systematisch zu verbinden.

Die Validierung erfolgt mehrstufig durch Literaturabgleich, technische Tests, Expertenfeedback und Tests in praxisnahen Anwendungssituationen. Diese Schritte gewährleisten die methodische Reproduzierbarkeit und unterstützen die spätere Evaluierung im Baustellenkontext.

5. Erwartete Ergebnisse und wissenschaftlicher Beitrag

5.1 Technische Ergebnisse

Zentrales Ergebnis ist ein prototypisches Assistenzsystem, das eine digitale Lernplattform mit KI-gestützten Funktionen zur sensorbasierten Tätigkeitserkennung verbindet. Erwartet werden ein für den Baustelleneinsatz geeignetes Sensorkonzept sowie robuste Modelle zur Erkennung und Bewertung von Arbeitsprozessen. Der Prototyp ermöglicht die kontextsensitive Unterstützung und Dokumentation realer Arbeitsschritte unter Praxisbedingungen.

5.2 Wissenschaftliche Ergebnisse

Auf wissenschaftlicher Ebene werden neue Erkenntnisse zur multimodalen Datenauswertung von Sensordaten in dynamischen, unstrukturierten Arbeitsumgebungen erwartet. Das Projekt Quincy liefert Beiträge zur Frage, wie körperliche Tätigkeiten im Außenbereich zuverlässig erfasst und interpretiert werden können. Darüber hinaus werden Einsichten zur Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktionen und zu adaptiven Rückmeldeformen gewonnen, insbesondere hinsichtlich Transparenz, Akzeptanz und lernwirksames Feedback.

5.3 Beitrag zur Forschung und zur Baupraxis

Durch die Verbindung von KI-Technologien, arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen und praxisnaher Erprobung entsteht ein ganzheitlicher Ansatz für die Qualifizierung auf Baustellen. Für die Forschung ergeben sich Beiträge zur

Tätigkeitserkennung, zur multimodalen Datensammlung sowie zu adaptiven Assistenzsystemen. Für die Baupraxis entsteht ein skalierbares Unterstützungs-Qualifizierungskonzept, das Qualität, Sicherheit und Effizienz von Arbeitsprozessen steigert.

6. Zusammenarbeit und Ausblick

Das Projekt Quincy ist als interdisziplinärer Verbund angelegt, in dem technologische, arbeitswissenschaftliche und sozialwissenschaftliche Perspektiven zusammengeführt werden. Das AWSi verantwortet die Entwicklung der KI-gestützten Smartservices sowie der Lernplattform. Ergänzend bringt die Universität Kassel arbeitsökonomische und ergonomische Expertise ein, insbesondere zur gesundheitsgerechten Arbeitsgestaltung und Nutzerakzeptanz. Das IÖW erweitert den Ansatz um sozialwissenschaftliche Aspekte der Green Economy und Responsible Digital Innovation. Meiser Solar als Praxispartner stellt reale Baustellenszenarien für Datenerhebung und Validierung bereit.

Die enge Zusammenarbeit ermöglicht eine iterative Entwicklung und praxisnahe Evaluation. Geplant sind Feldtests auf Baustellen von großen Photovoltaikanlagen, bei denen Endnutzer*innen einbezogen werden, um Funktionalität, Robustheit, und Akzeptanz der entwickelten Systeme unter realen Arbeitsbedingungen zu untersuchen.

Darüber hinaus bietet der modulare Aufbau der Plattform gute Voraussetzungen für Skalierbarkeit und Übertragbarkeit. Auch eine Anwendung in weiteren Branchen mit körperlich geprägten Tätigkeiten ist möglich. Aus wissenschaftlicher Sicht ergeben sich Anschlussfragen zur langfristigen Nutzung adaptiver Assistenz- und Lernsysteme sowie zur Gestaltung verantwortungsvoller Mensch-KI-Interaktionen in der Arbeitswelt.

7. Fazit

Das Paper stellt das Teilvorhaben im Projekt Quincy vor und verortet es im Kontext von Fachkräftemangel, Energiewende und Digitalisierung in großen Photovoltaikanlagen. Aufbauend auf dem Stand der Forschung werden die Ziele, der Projektkontext und der methodische Ansatz zur KI-gestützten Tätigkeitserkennung und zur Integration in eine adaptive Lernplattform beschrieben. Das methodische Vorgehen umfasst Literatur- und Marktanalysen, die Auswahl geeigneter Sensorik sowie vergleichende Modellierungsansätze. Erwartet werden ein praxistauglicher Prototyp, neue Erkenntnisse zur multimodalen Datenauswertung und zur Mensch-Technik-Interaktion sowie übertragbare Ansätze für die Qualifizierung von Arbeitskräften. Damit leistet das Teilvorhaben einen Beitrag zur humanzentrierten Digitalisierung im Kontext der Energiewende.

8. Literatur

Chakravarthi B, Prasad BP, Chethana B, Kumar BP (2022) Real-time Human Motion Tracking and Reconstruction using IMU Sensors, International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET).

Cheng X, Jia Z, Bhatia A, Aronson RM, Mason MT (2018) Sensor selection and stage & result classifications for automated miniature screwdriving. In2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 2018 Oct 1 (pp. 6078-6085). IEEE.

Choudhary P, Kumari P, Goel N, Saini M (2021) An Audio-Seismic Fusion Framework for Human Activity Recognition in an Outdoor Environment, IEEE.

Georgi M, Amma C, Schultz T (2020) Recognizing Hand and Finger Gestures with IMU based Motion and EMG based Muscle Activity Sensing, Karlsruhe Institute of Technology.

Jang Y, Jeong I, Heravi M.Y, Sarkar S, Shin H, Ahn Y (2023) Multi-Camera-Based Human Activity Recognition for Human–Robot Collaboration in Construction Sensors, vol. 23, no. 15, article 6997.

Lu Z, Cai S, Chen B, Liu Z, Guo L, Yao L (2022) Wearable real-time gesture recognition scheme based on A-mode ultrasound. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 30, 2623-2629.

Prathivadi Y, Wu J, Bennett T.R, Jafari R (2020) Robust Activity Recognition using Wearable IMU Sensors, Department of Electrical Engineering, University of Texas at Dallas.

Rahn V.X, Zhou L, Klieme E, Arnrich B (2021) Optimal Sensor Placement for Human Activity Recognition with a Minimal Smartphone–IMU Setup, Hasso Plattner Institute, University of Potsdam.

Rao A, Radanović M, Liu Y, Hu S (2022) Real-time monitoring of construction sites: Sensors, methods, and applications, Automation in Construction, Apr. 2022. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104099

Siddiqui N, Chan RH (2020) Multimodal hand gesture recognition using single IMU and acoustic measurements at wrist, PLOS ONE, Jan 13;15(1):e0227039.

Sopidis G, Haslgrübler M, Azadi B, Anzengruber-Tánase B, Ahmad A, Ferscha A, Baresch M (2022) Micro-activity recognition in industrial assembly process with IMU data and deep learning. InProceedings of the 15th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments Jun 29 (pp. 103-112).

Zhang M, Chen S, Zhao X, Yang Z (2018) Research on Construction Workers' Activity Recognition Based on Smartphone, Sensors, 18(8): 2667.

https://akademie.tuv.com/

https://www.ise.fraunhofer.de/

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt dem Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt für die Förderung des Projekts Quincy (Förderkennzeichen: 02L23B063).

Humanzentrierte Gestaltung digitaler Arbeit beim Bau großer Solaranlagen

Daniel FREITAG, Mehrach SAKI, Oliver STRÄTER

Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel
Heinrich-Plett-Str. 40, D-34132 Kassel

Kurzfassung: Dieser Beitrag beschreibt den arbeitswissenschaftlichen Teil des interdisziplinären Projekts „Quincy“, das digitale Lern- und Arbeitsprozesse für den Bau großer Photovoltaikanlagen entwickelt. Ziel ist es, durch menschzentrierte Anforderungsanalysen, ergonomische Bewertung und lernorientierte Unterstützungssysteme eine technisch und ergonomisch korrekte Ausführung körperlicher Tätigkeiten zu fördern. Der Ansatz basiert auf arbeitswissenschaftlichen Konzepten zu Arbeitssystemen, Belastung und Beanspruchung, Gebrauchstauglichkeit und Lernen im Arbeitsprozess. Methodisch werden standardisierte Fragebögen mit sensorbasierter Erfassung von Bewegung und Blickverhalten kombiniert. Die gewonnenen Daten bilden die Grundlage für technische Entwicklung und evidenzbasierte Evaluation in mehreren Use Cases. Da sich das Projekt in einer frühen Phase befindet, liegt der Fokus auf dem konzeptionellen und methodischen Vorgehen.

Schlüsselwörter: menschzentrierte Arbeitsgestaltung, Ergonomie und Beanspruchung, arbeitsintegriertes Lernen, sensorbasierte Arbeitsanalyse, Assistenzsysteme, Digitalisierung

1. Einleitung und Problemstellung

Der Bau großer Photovoltaikanlagen ist ein zentraler Bestandteil der Energiewende, der jedoch mit hohen Anforderungen an Arbeitssicherheit, körperliche Belastbarkeit und Qualifizierung der Beschäftigten einhergeht. Gleichzeitig verschärfen demographischer Wandel, Fachkräftemangel und digitale Transformation die Rahmenbedingungen im Bausektor. Digitale Assistenz- und Lernsysteme eröffnen hier Potenziale, können ihre Wirkung jedoch nur entfalten, wenn sie in bestehende soziotechnische Arbeitssysteme integriert und menschengerecht gestaltet werden.

Aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive ist dafür eine frühzeitige und systematische Erfassung von Anforderungen, Belastungen und Lernbedarfen erforderlich. Sensorgestützte Verfahren, standardisierte Fragebogeninstrumente und ergonomische Bewertungsmodelle ermöglichen eine evidenzbasierte Analyse von Arbeitsbedingungen und liefern eine fundierte Grundlage für Gestaltungsentscheidungen.

Der vorliegende Beitrag stellt den arbeitswissenschaftlichen Anteil des interdisziplinären Projekts „Quincy“ vor, das digitale Lern- und Arbeitsprozesse im Photovoltaiksektor entwickelt und erprobt. Da sich das Projekt noch in einer frühen Phase befindet, stehen nicht Ergebnisse, sondern Ziele, theoretischer Bezugsrahmen und methodisches Vorgehen der arbeitswissenschaftlichen Begleitforschung im Vordergrund. Im weiteren Verlauf werden Projektkontext und Zielsetzung (Kap. 2), der theoretische Bezugsrahmen (Kap. 3), das arbeitswissenschaftliche Vorgehen (Kap. 4) sowie ein Ausblick (Kap. 5) dargestellt.

2. Projektkontext und Zielsetzung des Verbundprojekts

Das interdisziplinäre Verbundprojekt „Quincy“ adressiert die arbeits- und qualifikationsbezogenen Herausforderungen beim Bau großer Photovoltaikanlagen durch die Entwicklung digital unterstützter Lern- und Arbeitsprozesse. In einer kompetenzübergreifenden Kooperation arbeiten Partner aus Forschung, Entwicklung und Praxis zusammen, um ein übertragbares Modell für die menschengerechte Qualifizierung und Ausführung körperlich anspruchsvoller Tätigkeiten zu entwickeln. Der Photovoltaiksektor dient dabei als initiales Anwendungsfeld mit hoher Relevanz und gleichzeitig besonderen ergonomischen und qualifikatorischen Anforderungen.

Ziel des Gesamtprojekts ist es, digitale Assistenzsysteme, sensorbasierte Datenerfassung und lernorientierte Anwendungen so zu kombinieren, dass Arbeitsbedingungen verbessert und Qualifizierungsprozesse wirksam unterstützt werden. Dabei werden technologische, organisatorische und menschliche Faktoren gleichermaßen berücksichtigt und in einem integrierten soziotechnischen Ansatz zusammengeführt. Die im Projekt entstehende Lösung soll nicht nur in den betrachteten Anwendungsfällen erprobt, sondern perspektivisch auch auf weitere Branchen übertragbar sein.

Der vorliegende Beitrag behandelt den arbeitswissenschaftlichen Teil dieses Verbundvorhabens. Dieser umfasst insbesondere die humanzentrierte Anforderungsanalyse, die ergonomische und lernbezogene Bewertung der eingesetzten Technologien sowie die Entwicklung und Anwendung geeigneter Erhebungs- und Bewertungsinstrumente. Die arbeitswissenschaftliche Begleitforschung stellt damit die Grundlage bereit, auf der die technischen Partner ihre Systeme gestalten, integrieren und weiterentwickeln können. Durch die Kombination standardisierter Fragebogenverfahren, ergonomischer Analysen und sensorgestützter Messungen werden belastbare Daten zu Arbeitsabläufen, Belastung-Beanspruchung, Lernen und Akzeptanz erhoben, die eine evidenzbasierte Gestaltung der digitalen Lösungen ermöglichen.

3. Theoretischer Bezugsrahmen

Der arbeitswissenschaftliche theoretische Rahmen in Quincy ist in einer Arbeitssystemperspektive verankert, die Arbeit als Zusammenspiel von Mensch, Technik, Organisation und Umwelt versteht (Schlick et al., 2018). Digitale Assistenzsysteme greifen in dieses Gefüge ein, indem sie Informationsflüsse, Handlungsoptionen und Lerngelegenheiten verändern. Entsprechend wird einem soziotechnischen Gestaltungsansatz gefolgt, der technische und soziale Strukturen gemeinsam betrachtet und eine menschengerechte Digitalisierung zum Ziel hat (Mumford, 2006; Latniak et al., 2023).

3.1 Ergonomie, Belastung und Beanspruchung

Zentrale Referenz für die arbeitswissenschaftliche Analyse ist das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept, das zwischen objektiven Anforderungen der Arbeit und den individuellen Reaktionen der Beschäftigten unterscheidet (Rohmert, 1984; Schönpflug, 1987). In körperlich geprägten Montagetätigkeiten sind dabei insbesondere Körperhaltungen, Bewegungsabläufe und Umgebungsbedingungen relevant, da sie mit Risiken für Muskel-Skelett-Erkrankungen, Ermüdung und Sicherheitsereignissen verbunden sind. Im Projekt wird angestrebt, die technisch und ergonomisch korrekte Ausführung von Tätigkeiten durch lern- und qualifizierungsbezogene Maßnahmen zu fördern, um

arbeitsbedingte Belastungen zu reduzieren und Leistungs- sowie Lernfähigkeit nachhaltig zu unterstützen.

3.2 Menschliche Informationsverarbeitung und Gebrauchstauglichkeit

Digitale Assistenzsysteme wirken nicht nur auf körperliche, sondern vor allem auch auf kognitive Prozesse. Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und die Auslastung mentaler Verarbeitungsressourcen bestimmen, wie Informationen aufgenommen, interpretiert und in Handlungen umgesetzt werden (Kahneman, 1973; Wickens, 2008). Daraus folgt, dass Visualisierung, Feedback und Interaktion so gestaltet werden müssen, dass die kognitiven Ressourcen der Nutzenden effizient genutzt und nicht überlastet werden. Gestaltprinzipien der Wahrnehmungspsychologie (Wertheimer, 1923; Palmer, 1999) und Konzepte der Gebrauchstauglichkeit (DIN EN ISO 9241-11, 2018) liefern hierfür einen grundlegenden Gestaltungsrahmen, der Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit in der Mensch-System-Interaktion beachtet.

3.3 Lernen im Arbeitsprozess und digitale Lernunterstützung

Lernen im Arbeitsprozess wird theoretisch als Zusammenspiel arbeitsintegrierter (Saunders & Zuzel, 2010), erfahrungsbasierter (Kolb, 2014) und informeller (Marsick & Watkins, 2015) Lernformen beschrieben. Kompetenzen entstehen dabei vor allem durch die Bearbeitung realer Aufgaben sowie durch Feedback und Reflexion (Schön, 2007). Diese Perspektive bildet die konzeptionelle Grundlage der im Projekt verfolgten Lern- und Qualifizierungsansätze. Digitale Assistenzsysteme können solche Lernprozesse unterstützen, indem sie situationsbezogenes Feedback bereitstellen und Transparenz bezüglich eigener Bewegungen und Leistungen ermöglichen. Lernplattformen und Feedbacksysteme sind somit nicht als separate Schulungsinstrumente, sondern als Bestandteile der Arbeitsgestaltung zu betrachten.

3.4 Zentrale Gestaltungsdimensionen für Quincy

Aus diesen theoretischen Perspektiven ergeben sich vier zentrale Dimensionen, die im Projekt systematisch berücksichtigt werden: Gesundheit und Sicherheit, ergonomische Belastung und Beanspruchung, Lernfortschritt und Qualifikation sowie Motivation, Akzeptanz und Nutzbarkeit. Sie bilden die Grundlage der arbeitswissenschaftlichen Begleitforschung und stellen sicher, dass technologische Entwicklungen in Quincy an menschengerechten und lernförderlichen Kriterien ausgerichtet werden.

4. Arbeitswissenschaftliches Vorgehen und Arbeitspakete

Die praktische Umsetzung in Quincy folgt einem menschzentrierten Entwicklungszyklus aus Analyse, Gestaltung, Evaluation und Transfer (DIN EN ISO 9241-210, 2020). Ziel ist es, die korrekte Ausführung von Tätigkeiten durch Qualifizierungsmaßnahmen zu unterstützen und daraus belastbare Anforderungen und Bewertungsgrundlagen für die technischen Projektpartner bereitzustellen. Hierzu werden qualitative und quantitative Verfahren mit sensorgestützten Messsystemen kombiniert, um sowohl objektive Belastungen als auch subjektive Wahrnehmungen zu erfassen.

4.1 Anforderungsanalyse und konzeptionelle Grundlagen

In einem ersten Schritt werden die arbeitswissenschaftlichen Anforderungen an die digitalen Lern- und Assistenzsysteme erhoben. Ziel ist eine systematische Beschreibung der Arbeitsabläufe sowie die Ableitung von Bedarfen und Anforderungen der Mitarbeitenden. Hierzu werden etablierte Erhebungs- und Modellierungsverfahren zur Analyse von Belastung, Beanspruchung, Lernbedarfen und Akzeptanz eingesetzt. Diese umfassen sowohl standardisierte Fragebögen als auch nutzerzentrierte Verfahren wie Personas und werden durch arbeitspsychologische und ergonomische Tätigkeitsanalysen flankiert. Der Fokus liegt auf der Identifikation relevanter Aufgabenmerkmale, Umgebungsbedingungen und sicherheitsrelevanter Risiken. Die Ergebnisse werden in einem integrierten Human-Factors- und Qualifizierungskonzept zusammengefasst, das den Projektpartnern als strukturierte Gestaltungsgrundlage dient.

4.2 Gestaltung, Implementierung und Integration

Auf Basis der identifizierten Anforderungen wird die Auswahl von Sensorik, Wearables und Software unterstützt. Ein zentraler Beitrag ist die prototypische softwareseitige Integration des cEYEberman-Systems mit weiteren Projektkomponenten, wodurch eine valide Mess- und Feedbackinfrastruktur für die nachfolgenden Entwicklungs- und Evaluationsschritte geschaffen wird. Parallel werden die eingesetzten Technologien hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit bewertet (DIN EN ISO 9241-11, 2018). Die Ergebnisse fließen in ein multidimensionales Bewertungsschema ein, das die Dimensionen Gesundheit, Sicherheit, Qualifikation und Motivation integriert und als Referenzrahmen für die technische Weiterentwicklung dient.

4.3 Anwendung, ergonomische Analyse und Evaluation

Als allgemeine Referenz wird das sensorgestützte cEYEberman-System eingesetzt, um Körperhaltungen, Bewegungsabläufe und Blickverhalten ganzheitlich zu erfassen. Die so gewonnenen Datem dienen der Überprüfung, inwieweit die entwickelten Systeme die zuvor abgeleiteten Anforderungen erfüllen. Ergänzend werden standardisierte Befragungen durchgeführt, um die wahrgenommene Gebrauchstauglichkeit, Beanspruchung und lernbezogene Unterstützung der Systeme zu bewerten. Hierzu kommen etablierte Instrumente wie die System Usability Scale (SUS; Brooke, 1996; Bangor et al., 2009) und der NASA Task Load Index (NASA-TLX; Hart & Staveland, 1988) zum Einsatz. Das Bewertungsschema ermöglicht eine integrierte Bewertung von Gesundheits-, Sicherheits- und Qualifizierungsaspekten über alle Use Cases hinweg und bildet die Grundlage für die weitere technische Entwicklung.

4.4 Transfer, Netzwerk und Wissenschaftskommunikation

Die arbeitswissenschaftlichen Ergebnisse werden für den Transfer in europäische Kollaborationsnetzwerke aufbereitet und in Austauschformate mit Akteuren aus Bauwirtschaft, Qualifizierung und Ergonomie eingebracht. Ziel ist es, die entwickelten Methoden, Messansätze und Gestaltungsprinzipien über die Projektlaufzeit hinaus nutzbar zu machen und in Wissenschaft und Praxis zu verbreiten.

5. Ausblick und weiterer Projektverlauf

Im weiteren Projektverlauf werden die in den Arbeitspaketen abgeleiteten Anforderungen in den drei vorgesehenen Use Cases systematisch umgesetzt und im Rahmen der arbeitswissenschaftlichen Begleitforschung überprüft. Hierzu werden die mit cEYEberman erhobenen Bewegungs- und Belastungsdaten sowie standardisierte Fragebogenerhebungen genutzt. Sie dienen der Evaluation der entwickelten Lösungsansätze und als fundierte Grundlage für die Gestaltung und Optimierung durch die technischen Projektpartner. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die entstehenden digitalen Lern- und Assistenzsysteme an realen Bedingungen ausgerichtet sind.

Perspektivisch werden die entwickelten Messinstrumente, Bewertungsschemata und Qualifizierungsansätze in die europäische Vernetzungs- und Transferaktivitäten des Projekts eingebracht. Ziel ist es, arbeitswissenschaftlich fundierte Leitlinien für die menschengerechte Gestaltung digital unterstützter Arbeit in körperlich geprägten Tätigkeitsfeldern bereitzustellen und über den Photovoltaiksektor hinaus anschlussfähig zu machen. Damit leistet Quincy einen Beitrag zur Weiterentwicklung arbeitswissenschaftlicher Methoden für die Analyse, Gestaltung und Evaluation digital transformierter Arbeitssysteme.

6. Literatur

Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. Journal of usability studies, 4(3), 114-123.

Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. Usability evaluation in industry, 189(194), 4-7.

DIN EN ISO 9241-11 (2018): Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte, Beuth-Verlag, Berlin, 2018.

DIN EN ISO 9241-210 (2020): Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Menschzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme, Beuth-Verlag, Berlin, 2020.

Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In Advances in psychology (Vol. 52, pp. 139-183). North-Holland.

Kahneman, D. (1973). Attention and Effort. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Kolb, D. A. (2014). Experiential learning: Experience as the source of learning and development. FT press.

Latniak, E., Tisch, A., & Kauffeld, S. (2023). Zur Aktualität soziotechnischer Arbeits-und Systemgestaltungsansätze in Zeiten von Digitalisierung und KI. Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO), 54(1), 1-8.

Marsick, V. J., & Watkins, K. (2015). Informal and incidental learning in the workplace (Routledge Revivals). Routledge.

Mumford, E. (2006). The story of socio-technical design: Reflections on its successes, failures and potential. Information systems journal, 16(4), 317-342.

NASA (1986). Nasa Task Load Index (TLX) v. 1.0 Manual. Zugegriffen: 09. Januar 2026. Verfügbar unter: https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/downloads/TLX_pappen_manual.pdf

Palmer, S. E. (1999). Vision science: Photons to phenomenology. MIT press.

Rohmert, W. (1984). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 38(4), 193-200.

Saunders, M., & Zuzel, K. (2010). Work-integrated learning: A guide to effective practice. Routledge.

Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H. (2018). Arbeitswissenschaft. Springer-Verlag.

Schön, D. A. (2007). The reflective practitioner: How professionals think in action. Ashgate.

Schönpflug, W. (1987). Beanspruchung und Belastung bei der Arbeit–Konzepte und Theorien. Arbeitspsychologie, 1, 130-184.

Wertheimer, M. (1923). Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. II, Psychol. Forsch., Bd. 4, Nr. 1, S. 301-350

Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. Human factors, 50(3), 449-455.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Sensorbasierte Montagearbeit als sozio-technischer Innovationsprozess

Elisabeth SÜßBAUER, Jonas PENTZIEN, Christian LAUTERMANN

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)
Potsdamer Str. 105, D-10785 Berlin

Kurzfassung: Der Ausbau von Photovoltaik-Freiflächenanlagen ist zentral für die Energiewende, wird jedoch zunehmend durch Fachkräftemangel gebremst. KI-gestützte, sensorbasierte Assistenzsysteme gelten als vielversprechende Lösung, da sie Qualifizierung beschleunigen und Arbeitsprozesse effizienter gestalten können. Gleichzeitig bergen sie Risiken in Bezug auf Datenschutz, Überwachung und Verschiebungen von Handlungsmacht. Der Beitrag argumentiert, dass diese Ambivalenzen weder durch eine funktional-instrumentelle Innovationsperspektive noch durch eine kritisch-diagnostische Digitalisierungsforschung angemessen erfasst werden können. Stattdessen entwickelt der Beitrag eine sozio-technische Perspektive, die die Einführung digitaler Assistenzsysteme als prozessuale Reorganisation von Arbeit, Wissen, Kontrolle und Verantwortung analysiert. Entlang von fünf analytischen Dimensionen wird gezeigt, wie Effizienz- und Qualifizierungspotenziale sowie digitalethische Risiken im Implementierungsprozess ausgehandelt werden können. Der Beitrag leistet damit einen konzeptionellen und methodischen Beitrag zur Analyse und verantwortungsvollen Gestaltung digitaler Innovationen im Kontext der Energiewende.

Schlüsselwörter: Digitale Innovation, Montagearbeit, PV-Freiflächenanlagen, KI, sozio-technische Regime

1. Einleitung

Die Photovoltaik (PV) gilt als Schlüsseltechnologie der globalen Energiewende. Die aktuelle Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, neben PV-Dachanlagen auch Freiflächenanlagen (PV-FFA) bzw. Solarparks stärker zu fördern: Bis 2040 soll der Anteil auf insgesamt 200 GW steigen und damit die Hälfte am in Deutschland erzeugten Solarstrom darstellen (Dünzen et al. 2024). Gleichzeitig steht die deutsche Solarbranche vor einer bedeutenden Herausforderung: für spezialisierte Subunternehmer wird es zunehmend schwieriger, genügend qualifizierte Kolonnen für parallele Baustellen bereitzustellen, was Projekte verzögert und die Planbarkeit von PV-FFA-Vorhaben einschränkt (Engler et al. 2023). KI-gestützte Assistenzsysteme – etwa in Form von Wearables (d.h. kleine vernetzte Geräte, die am Körper getragen werden) – erscheinen als eine vielversprechende Lösung: sie versprechen eine schnellere Qualifizierung von Arbeitskräften sowie effizientere Montageprozesse. Gleichzeitig sind mit ihrem Einsatz erhebliche Risiken verbunden, insbesondere in Bezug auf Datenschutz, Überwachung und informationelle Selbstbestimmung. Digitale Assistenzsysteme greifen damit nicht nur in Arbeitsabläufe ein, sondern potenziell auch in bestehende Macht-, Wissens- und Verantwortungsstrukturen auf der Baustelle.

In der gegenwärtigen Forschung spiegeln sich solche Ambivalenzen nur begrenzt

wider. Ein großer Teil der Literatur rahmt digitale Innovation primär als funktional-instrumentelle Antwort auf externe Dringlichkeiten wie Klimawandel oder fehlende wirtschaftliche Dynamik (Gotsch et al. 2022). In dieser Logik erscheinen digitale Assistenzsysteme primär als Effizienz- und Skalierungsinstrumente. Demgegenüber fokussiert die kritisch-diagnostische Digitalisierungsforschung vor allem auf problematische Effekte digitaler Innovationen, etwa neue Abhängigkeiten, Kontrollmechanismen oder Machtasymmetrien (Staab & Geschke 2020). Zwar wird hier deutlich, *wo* Digitalisierung problematisch ist, doch bleibt weitgehend offen, *wie* digitale Transformationsprozesse in Organisationen konkret verlaufen – und unter welchen Bedingungen sie gestaltbar sind. In beiden Fällen geraten jene Aushandlungsprozesse aus dem Blick, in denen sich im Zuge der Einführung digitaler Assistenzsysteme Ziele, Verantwortlichkeiten, Wissensordnungen und Handlungsspielräume überhaupt erst herausbilden.

Der vorliegende Beitrag setzt an dieser analytischen Leerstelle an. Er schlägt eine sozio-technische Perspektive auf sensorbasierte Montagearbeit vor, die digitale Innovationen nicht als isolierte Artefakte, sondern als Bestandteil entstehender sozio-technischer Regime begreift (Smith et al. 2005; Dolata 2011). Diese Perspektive erlaubt es, digitale Innovationen im Vollzug ihrer Einführung zu analysieren und damit Ansatzpunkte für eine Gestaltung zu identifizieren, bei der digitalethische Risiken systematisch adressiert und zugleich jene Potenziale erschlossen werden, die digitale Innovationen für notwendige gesellschaftliche Transformationsprozesse wie die Energiewende eröffnen können.

Der Beitrag entwickelt eine solche Perspektive in drei Schritten. Zunächst wird die sensorbasierte Montagearbeit auf PV-Freiflächenanlagen eingeführt und die damit verbundenen Potenziale sowie Risiken skizziert. Anschließend wird begründet, warum eine sozio-technische Perspektive besonders geeignet ist, um sowohl die Wirkungen der Innovation im Arbeitsprozess zu analysieren als auch Ansatzpunkte für eine nachhaltigkeitsorientierte Gestaltung zu identifizieren. Abschließend werden die methodischen Implikationen dieser Herangehensweise und der damit verbundenen doppelten Zielstellung – Analyse und Gestaltung – dargestellt. Die empirische Grundlage bildet das BMFTR-geförderte Forschungsprojekt Quincy, in dem eine digitale Technologie für sensorbasiertes Arbeiten auf PV-Baustellen entwickelt und erprobt wird.

2. Potenziale und Risiken einer sensorbasierten Montagearbeit

Prognosen zufolge werden bis 2027 in der europäischen Solarbranche 1,2 Millionen Vollzeitarbeitsplätze benötigt, wobei Deutschland den höchsten Bedarf an Fachkräften in der Solarbranche hat. Bereits im Jahresdurchschnitt 2021/2022 fehlten hierzulande rund 216.000 Fachkräfte, die für die Umsetzung der Energiewende erforderlich wären (Jansen et al. 2022). Hinzu kommt, dass manuelle Montageprozesse nach wie vor mit hohen Fehler- und Nacharbeitsquoten verbunden sind (Sepanski et al. 2018), während der Einsatz von Robotik aufgrund wechselhafter Witterungsbedingungen im Außenbereich bislang kaum möglich ist (Kim et al. 2026).

Die digitale Innovation im Projekt Quincy setzt genau an diesen Herausforderungen an. Ziel ist es, Montagearbeit durch ein Lern- und Assistenzsystem zu unterstützen, das die Qualifizierung von Arbeitskräften erleichtert und Montageprozesse effizienter, schneller und sicherer gestaltet. Das System richtet sich insbesondere an ungelernte oder angelernte Personen und zielt darauf ab, Qualifizierungsprozesse systematischer zu gestalten, als dies in der Praxis bislang der Fall ist – eine zentrale Voraussetzung, um dem steigenden Bedarf an qualifiziertem Personal im Bereich der erneuerbaren

Energien zu begegnen (Terry et al. 2008). Insgesamt können so die Standards für Qualität und Sicherheit der Arbeit auf PV-Baustellen erhöht werden (Duroha & Macht 2023), was Gesundheits-, Ausfall- und Kostenrisiken verringert.

Neben diesen Potenzialen bergen sensorbasierte Assistenzsysteme (wie die geplante Quincy-Innovation) jedoch auch Risiken. So erfordert der effektive Einsatz von KI in der Regel den Zugriff auf umfangreiche personenbezogene Daten, was Bedenken hinsichtlich Privatsphäre und Datensicherheit der Arbeiter*innen aufwirft (Dhirani et al. 2023). Digitale Tools können zudem Einfallstore für Überwachung und Diskriminierung werden. Personenbezogene Daten lassen sich potenziell zur Leistungsüberwachung oder zur Beeinflussung von Beschäftigten nutzen (Ebert et al. 2020), wodurch die informationelle Selbstbestimmung und Persönlichkeitsrechte der Arbeiter*innen gefährdet werden können (Grigore et al. 2017).

3. Konzeptioneller Hintergrund: Digitale Innovation als Bestandteil sozio-technischer Regime

Die Gleichzeitigkeit von Effizienz- und Qualifizierungspotenzialen einerseits sowie Überwachungs- und Datenschutzrisiken andererseits verweist auf einen bislang unzureichend adressierten Gestaltungsbedarf: Um die sensorbasierte Montagearbeit in der Solarindustrie verantwortungsvoll einsetzen zu können, bedarf es einer konzeptionell-methodischen Herangehensweise, die beide Seiten systematisch in den Blick nimmt. Eine solche konzeptionell-methodische Herangehensweise ist jedoch bislang nur fragmentarisch entwickelt und liegt nicht in einer Form vor, die den beschriebenen Ambivalenzen systematisch gerecht wird. In der bestehenden Forschung lassen sich zwei für das hier skizzierte Vorhaben zentrale Zugänge unterscheiden, die jeweils wichtige Aspekte digitaler Innovation adressieren, zugleich jedoch analytische Leerstellen aufweisen.

Auf der einen Seite steht die kritisch-diagnostische Digitalisierungsforschung, die auf problematische Effekte digitaler Innovationen aufmerksam macht, etwa neue Abhängigkeiten, Kontrollmechanismen oder Machtasymmetrien (Staab & Geschke 2020; Altenried 2022). Diese Arbeiten leisten einen wichtigen Beitrag zur Sichtbarmachung von Risiken und Konfliktlagen. Zugleich bleibt jedoch häufig offen, wie digitale Transformationsprozesse in Organisationen konkret verlaufen, wie sie im Arbeitsalltag umgesetzt werden und unter welchen Bedingungen sie tatsächlich gestaltbar sind. Auf der anderen Seite hat sich mit Corporate Digital Responsibility (CDR) und Responsible Digital Innovation (RDI) ein wachsender Literaturstrang etabliert, der normative Leitbilder, Prinzipien und Frameworks für eine verantwortungsvolle und nachhaltige Gestaltung digitaler Innovationen entwickelt (z.B. Lautermann & Frick 2023; Cheng et al. 2024; Ernst & Matter 2025). Im Zentrum stehen dabei Fragen unternehmerischer Steuerung und Wertorientierung. So betont etwa der RDI-Ansatz, dass digitale Technologien so eingesetzt werden sollten, dass gemeinsame Werte geschaffen und langfristige Folgen für Mensch und Umwelt berücksichtigt werden (Pappas et al. 2023, S. 946). Wie diese normativen Ansprüche jedoch im organisationalen Alltag umgesetzt, ausgehandelt oder auch unterlaufen werden, bleibt in der Literatur weitgehend unterbelichtet. Entsprechend fehlen empirisch fundierte Einsichten darüber, wie Unternehmen mit neuer digitaler Verantwortung umgehen und wie dabei „Bedürfnisse nach Privatsphäre, Selbstbestimmung und Kontrolle“ (Weber-Lewerenz & Traverso 2024, S. 289) berücksichtigt werden.

Der vorliegende Beitrag setzt genau an dieser analytischen Leerstelle an. In Anlehnung an Dolata (2011) werden digitale Innovationen nicht als isolierte technische Artefakte verstanden, sondern als Auslöser und Medium sozio-technischer Transformationsprozesse. Technischer Wandel vollzieht sich aus dieser Perspektive typischerweise nicht in Form abrupter Brüche, sondern als gradueller, konflikthafter und nichtlinearer Prozess, in dem sich soziale Praktiken, Machtverhältnisse und Verantwortungszuschreibungen schrittweise neu justieren (Streeck & Thelen 2005). Im Kontext solcher durch digitale Innovationen angestoßener Wandlungsprozesse entstehen sogenannte sozio-technische Regime, die Smith et al. als „relativ stabile Konfigurationen von Institutionen, Techniken und Artefakten sowie Regeln, Praktiken und Netzwerken" definieren, welche die „‚normale' Entwicklung und Nutzung von Technologien bestimmen" (2005, S. 1493, eig. Übersetzung). Im Rahmen des Projektes soll das durch die Einführung des KI-gestützten Assistenz- und Qualifizierungssystems entstehende sozio-technische Regime entlang der folgenden Dimensionen analysiert werden: Ziel- und Zweckannahmen, Macht- und Kontrollstrukturen, Wissensordnungen, Verantwortungszuschreibungen sowie Verteilungswirkungen. Unter Rückgriff auf diese analytischen Dimensionen und Fragen kann einerseits das sozio-technische Regime, das sich im Zuge der Einführung sensorbasierter Montagearbeit auf Baustellen entwickelt, rekonstruiert werden. Andererseits kann aus digitalethischer Perspektive bewertet werden, welche Formen von Arbeit die digitale Innovation strukturell ermöglicht, wahrscheinlicher macht oder ausschließt.

4. Methodisches Vorgehen: Die Einführung sensorbasierter Assistenzsysteme auf PV-Baustellen als sozio-technischen Prozess verstehen

Methodisch bedeutet diese Perspektive, möglichst viele durch das sozio-technische Regime assoziierte Stakeholder zu interviewen und daraus ein übergeordnetes Bild der sozialen Strukturierung auf der PV-Baustelle abzuleiten. Stakeholder im organisationalen Feld des Solarparks sind u.a. die Geschäftsführung von Meiser Solar, Bauleiter*in und HR-Leitung des Montageunternehmens, ggf. Mitarbeitervertretung/Betriebsrat sowie Expert*innen im Bereich Digitalethik. Die oben skizzierten Dimensionen sozio-technischer Innovationsprozesse (Handlungsmacht, Wissensordnung etc.) werden dabei als Grundlage für die Entwicklung der Erhebungsinstrumente verwendet.

Zentrale Akteure des sozio-technischen Transformationsprozesses sind dabei die Arbeiter*innen selbst (Moilanen & Alasoini 2023): Ihr Erfahrungswissen soll daher nicht nur analysiert, sondern auch in den Gestaltungsprozess, also die Entwicklung und Erprobung der Quincy-Innovation, eingeschleust werden. Sie sind nicht nur „Botschafter*in" oder „Adressat*in" der Innovation (Süßbauer et al. 2019), sondern gehen eine Mensch-Maschine-Beziehung mit dem digitalen Assistenzsystem ein. Die enge Interaktion von Mensch, Maschine und Entscheidungskontext kann in Bezug auf die Handlungskontrolle zu Wissens-, Bewertungs- und Komplexitätsproblemen führen, die aus der Perspektive der einzelnen Fachkraft nicht mehr gelöst werden können (Wortmeier & Kropp 2021). Handlungsmacht & Kontrolle ist daher eine Dimension, die bei der Untersuchung eine besondere Rolle spielt.

Methoden mit dem Fokus auf Arbeiter*innen und deren Erfahrungswissen sollten visuell und sprachlich einfach sein sowie möglichst vor Ort stattfinden. Es werden daher beobachtungs- und dialogorientierte qualitative Methoden der Sozialforschung favorisiert, die wenig kognitiv orientiert sind und an den realen Arbeitsablauf andocken.

Dazu zählt das Shadowing (Gill 2011), also das Mitlaufen mit Arbeiter*innen oder Kolonnen, wodurch reale Abläufe, Medienbrüche, Wartezeiten, Umwege, Suchzeiten etc. erfasst werden können (Zalk et al. 2011). Die Beobachtung ausgewählter Arbeitssequenzen könnten mit der Methode Lautes Denken (think aloud) kombiniert werden: Arbeiter*innen führen eine Tätigkeit aus und erklären Schritt für Schritt, was sie tun, wo sie aufpassen müssen, was nervt oder Zeit kostet (Xiang et al. 2024). Um insbesondere die Wissens- und Verantwortungsstrukturen zu untersuchen, werden Fehler- und Störungsinterviews genutzt n. Dies sind kurze, wiederkehrende Gespräche nach Schichtende zu aufgetretenen Störungen (Nielsen et al. 2022). Während der Erhebung fungieren Vorarbeiter*innen als Brücke zwischen Management und ausführenden Arbeitskräften (Syben 2009); sie helfen bei der Rekrutierung und der Übersetzung von Interviewfragen in Alltagssprache.

5. Fazit und Ausblick

Akteure der Energiewende bringen Innovationen hervor, die Arbeitsabläufe in der Solarbranche grundlegend transformieren können. Am Beispiel sensorbasierter Montagearbeit zeigt sich, dass solche Innovationen zugleich erhebliche Potenziale – etwa für Qualifizierung, Qualitätssicherung und Arbeitssicherheit – sowie relevante Risiken in Bezug auf Datenschutz, Kontrolle und Verantwortungsverschiebungen mit sich bringen. Diese Ambivalenzen lassen sich weder durch eine rein funktionale Effizienzperspektive noch durch eine kritisch-diagnostische Betrachtung angemessen erfassen. Vor diesem Hintergrund zielte der Beitrag darauf ab, ein Forschungsprogramm zu skizzieren, das digitale Innovationen in der Solarbranche im Entwicklungs- und Implementationsprozess analysiert und damit Ansatzpunkte für eine Gestaltung identifiziert, bei der digitalethische Risiken systematisch adressiert und zugleich die Potenziale digitaler Technologien für notwendige gesellschaftliche Transformationsprozesse wie die Energiewende erschlossen werden können. Argumentiert wurde für eine sozio-technische Herangehensweise, die digitale Innovationen als Bestandteil entstehender Regime begreift – und die damit verbundenen Neuordnungen von Arbeit, Wissen und Verantwortung systematisch rekonstruiert. Der Ausblick des Beitrags liegt in der weiteren Ausarbeitung dieses zweistufigen Forschungsprogramms. Nächster Schritt ist es, die analytische Rekonstruktion sozio-technischer Regime und die nachhaltigkeitsorientierte Gestaltung von Innovationsprozessen so zu operationalisieren, dass konkrete empirische Einsichten darüber gewonnen werden können, wie Energiewende, Digitalethik und Arbeit in ein produktives Verhältnis zueinander treten.

6. Literatur

Cheng ZM, Bonetti F, de Regt A, et al (2024) Principles of responsible digital implementation: Developing operational business resilience to reduce resistance to digital innovations. Organizational Dynamics 53: 101043

Dhirani LL, Mukhtiar N, Chowdhry BS, Newe T (2023) Ethical dilemmas and privacy issues in emerging technologies: A Review. Sensors 23: 1151

Dolata U (2011) Wandel durch Technik: eine Theorie soziotechnischer Transformation. Frankfurt: Campus Verlag

Dünzen K, Krieger S, Ritter D (2024) Photovoltaik-Freiflächenanlagen in Deutschland. Freiburg: Öko-Institut e.V.

Duroha JC, Macht GA (2023) Solar installation occupational risks: A systematic review. Safety Science 160: 106048

Ebert I, Busch T, Wettstein F (2020) Business and human rights in the data economy: A mapping and research study. Berlin: Deutsches Institut für Menschenrechte
Engler JF, Mertens A, Neligan A, Bakalis D (2023) Nachfrage nach Berufen im Bereich der Wind- und Solarenergie. Eine Analyse von Online-Stellenanzeigen. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft Köln e. V.
Ernst L-E, Matter P (2025) The ethical innovator: Bridging the gap for integrating ethics into digital innovation practice. Journal of Responsible Innovation 12: 2476246
Gill R (2011) The shadow in organizational ethnography: moving beyond shadowing to spect-acting. Qualitative Research in Organizations and Management: An International Journal 6:115–133
Gotsch M, Martin N, Eberling E, et al (2022) Digitalisierung als Transformationsmotor für eine Green Economy - Der Beitrag von Big Data, KI und digitalen Plattformen auf dem Weg zu einer Green Economy. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt
Grigore G, Molesworth M, Watkins R (2017) New corporate responsibilities in the digital economy. In: Theofilou A, Grigore G, Stancu A (Eds) Corporate Social Responsibility in the Post-Financial Crisis Era: CSR Conceptualisations and International Practices in Times of Uncertainty. Cham: Palgrave Macmillan Cham, 41–62
Jansen A, Malin L, Kutz V (2022) Energie aus Wind und Sonne. Welche Fachkräfte brauchen wir? Köln: Kompetenzzentrum Fachkräftesicherung.
Kim H, Hong J, Song E, et al (2026) A multi-dimensional failure factor affecting the on-site adoption of construction robots. Developments in the Built Environment 25: 100841
Lautermann C, Frick V (2023) Corporate Digital Responsibility. Wie Unternehmen im digitalen Wandel Verantwortung übernehmen. Berlin: Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung
Moilanen F, Alasoini T (2023) Workers as actors at the micro-level of sustainability transitions: A systematic literature review. Environmental Innovation and Societal Transitions 46: 100685
Nielsen K, Ng K, Vignoli M, et al (2022) A mixed methods study of the training transfer and outcomes of safety training for low-skilled workers in construction. Work & Stress 37:127–147
Pappas IO, Mikalef P, Dwivedi YK, et al (2023) Responsible digital transformation for a sustainable society. Inf Syst Front 25:945–953
Sepanski A, Hupach U, Herz M, et al (2018) PVScan Schlussbericht. Evaluationsforschung zur Qualitätssicherung und -bewertung von PV-Modulen im Solarpark. TÜV Rheinland Energy GmbH
Smith A, Stirling A, Berkhout F (2005) The governance of sustainable socio-technical transitions. Research Policy 34:1491–1510
Staab P, Geschke S-C (2020) Ratings als arbeitspolitisches Konfliktfeld. Das Beispiel Zalando. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung.
Streeck W, Thelen K (2005) Introduction: institutional change in advanced political economies. In: Streeck W, Thelen K (Eds) Beyond Continuity: Institutional Change in Advanced Political Economies. Oxford: Oxford University Press, 1-39
Süßbauer E, Maas-Deipenbrock RM, Friedrich S, et al (2019) Employee roles in sustainability transformation processes: A move away from expertise and towards experience-driven sustainability management. GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society 28:210–217
Syben G (2009) “Lernende Branche Bau” als Faktor der Entwicklung eines “Leitbildes Bauwirtschaft”. Situation, Stellenwert und Perspektive der Qualifizierung der Beschäftigten in der Wertschöpfungskette Planen und Bauen. Stuttgart: Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau.
Terry TN, Burneo PS, Martinez CM, et al (2008) Construction safety and informal training: a two-part study. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 52:1723–1727
Weber-Lewerenz B, Traverso M (2024) How can Corporate Digital Responsibility (CDR) be measured in line with Corporate Social Responsibility (CSR)? A new theoretical approach in construction 4.0. Sustainable Development 33:287–308
Wortmeier A-K, Kropp C (2021) AR-Brillen und Exoskelette in der Baubranche: Einfache Entlastungsversprechen gegenüber komplexen Mensch-Maschine-Konfigurationen. AIS-Studien 14:37–53
Xiang Q, Liu Y, Goh YM, et al (2024) Investigating the impact of hazard perception failure on construction workers’ unsafe behavior: An eye-tracking and thinking-aloud approach. Journal of Construction Engineering and Management 150: 04024066
Zalk DM, Spee T, Gillen M, et al (2011) Review of qualitative approaches for the construction industry: Designing a risk management toolbox. Safety and Health at Work 2:105–121

Danksagung: Das Projekt “Quincy – Qualifizierung von Arbeitskräften durch digitale Innovationen in europäischen Kollaborationsnetzwerken” wird finanziert durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR). Wir danken Veronica Lucius für die Unterstützung bei der Literaturrecherche sowie Erstellung und Pflege der Literaturdatenbank.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Status Quo Kompetenztransformation: Prozessualer Stillstand oder individuelle Wettbewerbsfähigkeit?

Philipp SCHILD, Maximilian DOMMERMUTH

Bosch Rexroth Academy, Bosch Rexroth AG
Lise-Meitner-Straße 2, D-89081 Ulm

Kurzfassung: Unternehmen stecken trotz hoher Investitionen in Weiterbildung in traditionellen Kompetenzmanagement-Strukturen fest, die der BANI-Welt nicht gewachsen sind. Eine empirische Studie in Industrie-unternehmen zeigt, dass prozessuale Hürden und eine fehlende strategische Zielsetzung eine adaptive Skill-Transformation verhindern. Als Lösungsansatz wird ein soziotechnischer Prozess vorgestellt, der mittels technologischer Kernfunktionen einen wirkungsorientierten Regelkreis bildet und das Ziel einer adaptiven und effektiven Qualifizierung ermöglicht und Skill-Management besser im Produktionsmanagement integriert.

Schlüsselwörter: Skill-Management, Adaptive Kompetenztransformation

1. Einleitung: Notwendigkeit von Kompetenztransformation in einer BANI-Welt

Die globale Wirtschaft befindet sich in einem fundamentalen Umbruch, der von zwei parallel verlaufenden Megatrends angetrieben wird. Durch disruptive Technologien wie künstliche Intelligenz verändern sich Arbeitsprozesse, wodurch bestehende Tätigkeiten obsolet werden, während gänzlich neue Jobprofile entstehen. Andererseits trifft diese Entwicklung auf eine Arbeitswelt, die unter anderem durch den demografischen Wandel sowie das globale wirtschaftlich angespannte Umfeld geprägt ist. Ein zunehmender Mangel an Fachkräften führt dazu, dass die Nachfrage nach Domänenwissen nicht allein durch Neueinstellungen kompensiert werden kann. (Burstedde, Tiedemann 2025) Diese sich rapide verändernde Realität wird von Cascio (2020) unter dem Namen BANI-Welt (brittle, anxious, non-linear, incomprehensible) zusammengefasst. Sie beschreibt die Problemstellung, welche Unternehmen vor strategische Herausforderungen stellt, agil und anpassbar zu werden, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu wahren. Diese Anpassungsfähigkeit sollte auch die Befähigung der Belegschaft beinhalten, um diese schnellstmöglich und akkurat auf täglich neu entstehende Veränderungen und Skill-Gaps vorzubereiten.

Aufgrund dieser Dringlichkeit stoßen traditionelle Ansätze des Kompetenz-managements an ihre Grenzen. Weltweit steigen die Investitionen in die Qualifizierung von Mitarbeitern (Bitkom 2022, Bersin 2024), doch der erhoffte Return on Investment bleibt häufig aus. Mindestens 50 % der Investments erwirken kein klares Ziel (Haufe 2024). Ein zentrales Problem liegt in der strategischen Ausrichtung, da anstelle von zielgerichteten und bedarfsorientierten Maßnahmen häufig pauschale Ansätze dominieren. Die Qualifizierung erfolgt somit nicht auf Basis von identifizierten Kompetenzlücken und Pain-Points, sondern basiert auf starren Katalogen, die der Dynamik des Marktes nur bedingt gewachsen sind (Dommermuth 2024).

Dieser Beitrag untersucht, wie zielgerichtet Kompetenzmanagement in der Industrie weltweit durchgeführt wird und welche prozessualen und strukturellen Hürden die Effektivität und Adaptivität verhindern.

2. Vom Kompetenzmanagement zum adaptiven Skill-Management

Es bedarf neuer Ansätze für Skill-Management, die auch systematisch und zielgerichtet die Schwachstellen der Unternehmenseinheiten angehen. Der Fokus wandert zunehmend auch zu einem problem-, wirkungs- und zielorientierten Ansatz, der die Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig unterstützen soll. Während klassisches Kompetenzmanagement weiterhin als Basis für langfristig planbare Curricula zur Erfüllung gesetzlicher Vorgaben (z.B. Sicherheitsunterweisungen) und zur Etablierung einer grundlegenden Lernkultur dient, konzentriert sich das adaptive Skill-Management auf Individualisierung und Zielerreichung (Dommermuth et al. 2025).

***Abbildung 1**: Reifegrade und Eigenschaften des Skill-Managements aus Dommermuth et al. (2025).*

Um diesen Übergang zu strukturieren und den Fortschritt von Skill/Kompetenz-Management-Systemen zu bewerten, wurde auf Basis von Wirksamkeitskriterien und Praxiserfahrung ein Reifegradmodell entwickelt (vgl. Abbildung 1). Dieses Modell gliedert den Entwicklungsprozess in aufeinander aufbauende Stufen, die eine stetig steigende Reaktionsfähigkeit und Wirksamkeit ermöglicht:

Stufe 1 und 2 Systematisches Kompetenzmanagement: Die beiden initialen Stufen bilden die Basis und etablieren die Bereitstellung von Lernangeboten (Stufe 1) sowie deren Zuordnung zu Job-Rollen über Curricula (Stufe 2). Primär sind diese Stufen durch die Sicherstellung von Compliance und Kultur getrieben und fokussieren sich mehr auf Standardisierung von Qualifizierungsmaßnahmen und weniger auf strategische Entwicklung von Produktivitätskennzahlen.

Stufe 3 Strategische Zielorientierung: Mittels systematischer Lernbedarfsanalysen und Pain-Point-Orientierung werden Entwicklungsziele explizit ermittelt, womit diese Stufe, das proaktive Management (z.B. durch Kopplung an Unternehmensziele) maßgeblich unterstützen muss.

Stufe 4 Transparenz und Steuerung: Um den definierten Zielen nachzugehen, werden Lernmaßnahmen und deren Fortschritt an Key Performance Indicators (KPIs) gekoppelt. Deren kontinuierliche Überwachung schafft Transparenz über die Zielerreichung und ermöglicht es, bei Abweichung von Zielgrößen schnellstmöglich wirksame Maßnahmen und Initiativen abzuleiten und anzupassen.

Stufe 5 Effektives Lernen: Die Effektivität von Lernprozessen wird durch zielorientierten Inhalt und die methodische Optimierung der Rahmenbedingungen erreicht. Die Auswahl der Lernformate erfolgt gezielt zur Förderung von Handlungs-kompetenzen. Die Zielerreichung wird dabei durch die erfolgreiche Anwendung des Gelernten im Arbeitsprozess definiert und ist somit messbar und validiert.

Stufe 6 Individualisierung der Lernmaßnahmen: In diesem Schritt werden Lernmaßnahmen auf die individuelle Ausgangslage und Problemstellung des Lernenden zugeschnitten (z.B. Energieoptimierung einer spezifischen Bestandsanlage). Durch die Verknüpfung von Lern- und Wissensdatenbanken werden KI-gestützt adaptive Lernpfade generiert. Dies schafft ein persönliches Lernerlebnis, bei dem sich die Inhalte dynamisch an den Kenntnisstand des Einzelnen anpassen und der Wissenstransfer optimal gefördert wird. (Dommermuth et al. 2025)

3. Methodisches Vorgehen zur empirischen Untersuchung

Um den Status Quo von bestehenden industriellen Kompetenzmanagement-Praktiken und die Anforderungen eines adaptiven Skill-Managements empirisch zu untersuchen, wurde im Rahmen dieses Beitrages ein mehrstufiges Vorgehen konzipiert und angewendet. Dieses Vorgehen soll eine holistische Erfassung der Verbesserungspotenziale in den weltweit betrachteten Unternehmen ermöglichen, indem es qualitative Erhebungen mit einer strukturierten quantitativen Bewertung (basierend auf dem in Kapitel 2 beschriebenen Reifemodell) kombiniert. Der Analyseprozess, der im Zeitraum des Frühjahres und Sommer 2025 durchgeführt wurde, gliedert sich in drei aufeinander aufbauende Phasen: (1) qualitative Experteninterviews, (2) eine quantitative Reifegradanalyse und (3) einen partizipativen Future-Skill-Workshop.

(1) Qualitative Experteninterviews (Skill-Process-Mapping): Im ersten Schritt wurden strukturierte Experteninterviews durchgeführt. Als Experten wurden gezielt Entscheidungsträger der Unternehmen und Prozessverantwortliche aus dem Bereich der betrieblichen Qualifikation ausgewählt, um eine hohe Informationsdichte und prozessuale Validität sicherzustellen. Die Interviews folgten einem standardisierten Leitfaden, der insbesondere auf die Erfassung des Standardisierungsgrades, der eingesetzten IT-Tools sowie der strategischen Ausrichtung der Qualifizierungsprozesse abzielte. Durch diese Vorgehensweise konnten systematisch vergleichbare Daten erzeugt werden, um Best-Practices zu identifizieren, aber auch Pain-Points im aktuellen Qualifizierungsprozess aufzudecken.

(2) Quantitative Reifegradanalyse: Im nächsten Schritt wurde eine quantitative Bewertung der Reife des Skill-Managements durchgeführt. Hierzu kam ein standardisierter Fragebogen zum Einsatz, der direkt auf den in Kapitel 2 vorgestellten Reifegraden des Modells nach Dommermuth et al. basiert. Der Fragenkatalog wurde im Vorfeld auf 42 Fragen limitiert und für eine Priorisierung von Pain-Points nach Relevanz entwickelt. Aus der Bewertung der Fachexperten ließ sich ein Reifegrad pro Stufe ableiten, wodurch eine objektive und vergleichbare Einordnung der Organisationen innerhalb des Modells gelang. Während sowohl Ist- als auch Soll-Zustand aufgenommen wurden, konnten durch deren Abgleich klare Maßnahmen zur Verbesserung des Skill-Managements und zugehöriger Operations abgeleitet werden.

(3) Future-Skill-Workshop: Der finale Schritt der Analysephase dient der Identifikation der für die Organisation erfolgskritischsten Zukunftskompetenzen. Der methodische Aufbau kombiniert einen Bottom-up- mit einem Top-down-Ansatz, um kontextspezifischen als auch übergeordneten strategischen Bedarf zu erfassen. Zunächst wurde in einem offenen Brainstorming der Skill-Bedarf aus der Perspektive der Teilnehmer (Bottom-up) ermittelt. Anschließend wurden diese Ergebnisse mit der Future-Skill-Landscape, eine Liste an über 600 Skills, die sich aus Literaturrecherchen, Marktforschung und Praxiserfahrung zusammensetzt, abgeglichen (Top-down). Eine solche

Ergänzung ist dahingehend notwendig, da Befragte ohne eine solche Auflistung oft nicht in der Lage sind, alle relevanten Zukunftskompetenzen zu identifizieren.

Das gesamte Analysevorgehen wurde innerhalb eines Zeitplans von 2 Tagen pro Organisation durchgeführt (vgl. Abbildung 2), wobei den drei Analyseschritten ein Kick-off vorausging. Abschließend wurden in einem Wrap-up die Ergebnisse und Maßnahmen validiert und den Teilnehmern veranschaulicht. Auf Grundlage der erarbeiteten Maßnahmen konnten Handlungsempfehlungen passgenau zusammengestellt werden, die die Weiterentwicklung des Skill-Managements der Organisationseinheiten nachhaltig verbessern sollen.

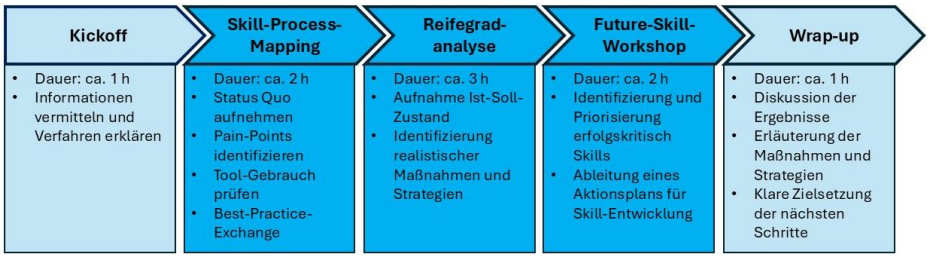


***Abbildung 2**: Ablauf der Analysephase.*

4. Status Quo des Skill-Managements in internationalen Industriebetrieben

Die durchgeführte Untersuchung lieferte trotz verschiedener Länder und Unternehmen ein weitestgehend konsistentes Bild über den aktuellen Stand des Skill-Managements. Jeder Analyseschritt deckte strukturelle Problemstellungen auf, die in einer holistischen Betrachtung zu berücksichtigen sind.

(1) Die qualitativen Experteninterviews offenbaren, dass in den untersuchten Unternehmen nur selten durchgängig standardisierte Qualifizierungsprozesse existieren. Während Abläufe für das initiale Onboarding neuer Mitarbeiter oft formalisiert sind, mangelt es an strukturierten Prozessen für die kontinuierliche Weiterbildung. Lebenslanges Lernen wird somit oft durch die fehlende prozessuale Verankerung behindert. Dieses Defizit im Qualifizierungsprozess wird durch die fragmentierte Datenhaltung weiter verschärft. Die Erfassung der Mitarbeiterkompetenzen erfolgt häufig nicht in einem zentralen, digitalen System, sondern in dezentralen „Excel-Insellösungen“, die von einzelnen Führungskräften gepflegt werden. Qualifikationsmatrizen sind oft weder aktuell noch untereinander kompatibel und erlauben somit keine übergreifende, ganzheitliche Betrachtung von Skill-Portfolios. Zudem liegt die Verantwortung für die Kompetenzentwicklung fast ausschließlich bei den direkten Führungskräften, die strategische Aufgaben verwalten.

(2) Die Ergebnisse der Reifegradanalyse unterstreichen die in den Experteninterviews aufgedeckten Verbesserungspotenziale. Die Auswertung zeigt, dass die untersuchten Organisationen mehrheitlich auf den ersten beiden Stufen des Reife-gradmodells stagnieren. Organisationen sind zwar in der Lage, Lernangebote bereit-zustellen und diese über Curricula zuzuweisen, scheitern jedoch am entscheidenden Schritt hin zu einer strategischen und zielorientierten Steuerung. Insbesondere klare Ziele zu definieren, stellte sich als größte Schwäche der Organisationen heraus mit der geringsten Reifegradausprägung (0,9 von 5). Vor allem Mitarbeiter fertigender Organisationseinheiten waren kaum in der Lage, ihre eigenen Kern- und Fokuskompetenzen zu identifizieren, welche sie für ihre aktuellen oder zukünftigen Aufgaben benötigen. Dies spiegelt sich ebenfalls in der Analyse von Skill-Gaps wider, wobei keines der befragten

Unternehmen einen standardisierten und strukturierten Ansatz verfolgte. Jedoch sind eben diese Abläufe erfolgskritisch zur Befähigung der adaptiven Skill-Transformation.

(3) Der Future-Skill-Workshop deckte eine signifikante Lücke im Bewusstsein für strategisch relevante Kompetenzentwicklung auf. Im offenen Brainstorming wurden viele funktionale Kompetenzen aufgedeckt, die besondere Bedeutung für die Produktivität und den Erfolg des Unternehmens stellen. Während des vorstrukturierten Teils des Workshops wurden vermehrt generelle und Zukunftskompetenzen genannt, welche der schnelleren Anpassungsfähigkeit dienen. So wurden beispielsweise Skills wie Problemlösefähigkeit, Veränderungsbereitschaft oder Kollaborationsfähigkeit nie im ersten Teil des Workshops genannt, jedoch von allen Unternehmen als erfolgskritisch angesehen.

Die empirischen Befunde zeichnen in ihrer Gesamtheit ein klares Bild: Die untersuchten Unternehmen sind im klassischen, administrativen Kompetenzmanagement gefangen. Es existiert keine Vorgehensweise für die moderne Skill-Transformation, da unter anderem kritische Elemente, wie digitale Skill-Management-Softwares oder Weiterbildungsbedarfsmechanismen, nicht methodisch gestützt werden. Während Fähigkeiten, die der Anpassungsgeschwindigkeit dienen, relativ einfach in das Lernangebot des klassischen Kompetenzmanagements aufgenommen werden können, benötigt es bei den erfolgskritischen Skills klarer Prozesse zur Bewahrung und Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch moderne Skill-Transformation.

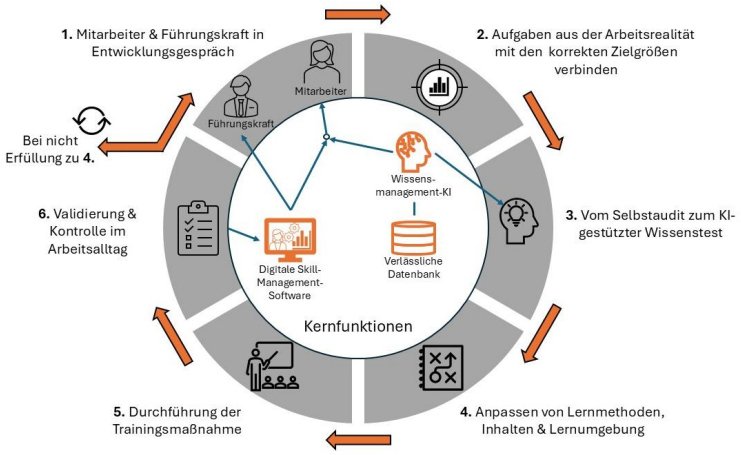


***Abbildung 3**: Exemplarischer Ablauf des Qualifizierungsprozesses für adaptive Skill-Transformation.*

Daher bedarf es eines soziotechnischen Prozesses zur Realisierung der adaptiven Skill-Transformation, wie in Abbildung 3. Dieser agile, iterative Regelkreis wird durch konkrete Leistungsdefizite (z.B. KPIs, FTE) durch die Führungskraft oder durch wahrgenommene Kompetenzlücken (Mitarbeiter) in einem Regeltermin (ca. 3-Monats-Rhythmus) angestoßen. Nach der Definition der messbaren Praxis-Ziele werden der KI neben diesen Zielen auch individuelle Rahmenbedingungen bereitgestellt. Sie greift auf eine kuratierte Wissensdatenbank zu, um über ein Assessment den individuellen Kenntnisstand zu ermitteln und einen transparenten, personalisierten Lernpfad vorzuschlagen. Auf Basis der aufgenommenen Randbedingungen werden Lernmethode, Inhalte und Lernumgebung gemäß dem Bedarf des Mitarbeiters angepasst und die Trainingsmaßnahme durchgeführt. Die Wirksamkeit wird nicht durch den Abschluss, sondern durch die nachweisliche Verbesserung der Praxis-KPIs validiert, was eine agile Anpassung ermöglicht. Während dieser Validierungsphase erfolgt eine kontinuierliche Analyse nach weiteren Skill-Gaps, welche im Schritt 1 in einem neuen Skill-Analyse-

Gespräch besprochen werden, um Produktivität und Qualität nachhaltig zu verbessern. Somit lässt sich dieser Teil des Skill-Managements eher dem Produktionsmanagement zuordnen.

5. Fazit und Diskussion

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass das betriebliche Skill-Management in vielen Industrieunternehmen noch in traditionellen, administrativen Strukturen verharrt. Es herrscht ein prozessualer Stillstand, der in Kontrast zur Dringlichkeit der Kompetenztransformation steht. Während gezieltes Re- und Upskilling zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von den befragten Unternehmen einstimmig erkannt wird und die Bereitschaft zur Veränderung vorhanden ist, fehlt es an konkreten, methodischen Ansätzen zur Umsetzung. Der in diesem Beitrag vorgestellte soziotechnische Prozess bietet einen ersten Lösungsansatz. Er ermöglicht einen Übergang von einem pauschalen zu einem adaptiven, wirkungsorientierten Skill-Management, indem er technologische Treiber wie KI und Skill-Management-Software als Kernfunktionen und einen standardisierten Qualifizierungsprozess in einem interaktiven Regelkreis verbindet.

Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die empirische Grundlage dieses Beitrags auf einer ersten umfangreichen Stichprobe beruht. Obwohl diese Daten aus verschiedenen, weltweit verteilten Organisationseinheiten stammen und konsistente Ergebnisse liefert, ist eine breitere quantitative Validierung der Befunde notwendig.

Ungeachtet dieser Limitationen bietet das entwickelte Vorgehen bereits jetzt einen wertvollen und praxiserprobten Leitfaden für Unternehmen. Es ermöglicht eine strukturierte Reflexion und Ableitung strategischer Verbesserungspotenziale, um den Weg zu einer zukunftsfähigen, adaptiven Skill-Transformation zu ebnen.

6. Literatur

Bersin, J. (2024). The $340 Billion Corporate Learning Industry Is Poised For Disruption. Abruf Jan 08 2025. https://joshbersin.com/2024/03/the-340-billion-corporate-learning-industry-is-poised-for-disruption/

Bitkom (2022). Weiterbildung im Kontext aktueller Herausforderungen und Trends. Bitkom. Abruf Jan 08 2026. https://bitkom-akademie.de/sites/default/files/2022-11/221128_BAK_Studie%20zur%20Weiterbildung%202022.pdf

Burstedde, A., Tiedemann, J. (2025). Fachkräftesituation in Digitalisierungsberufen – Beschäftigungsaufbau und Fachkräftemangel bis 2028, Studie im Projekt „Entwicklung und Messung der Digitalisierung der Wirtschaft am Standort Deutschland im Auftrag des BMWK, Köln

Cascio, J. (2020). Facing the Age of Chaos. Medium. Abruf Jan 08, 2026. https://medium.com/@cascio/facing-the-age-of-chaos-b00687b1f51d

Dommermuth, M., Wagner, A., Schild, P. (2025). Erlangung zukünftiger Handlungskompetenzen erfordern neue wirksame Lernmaßnahmen und adaptiv-es Skill-Mangement. In: GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2025, Aachen: GfA-Press, 800-805

Dommermuth, M. (2024). Bereit für die Digitale Transformation? – Erhebliche Qualifizierungslücken und Lernbedarfe in der Industrie erfordern neue Ansätze. In: ZWF, 199:460-464.

Haufe (2024). Investitionen in Weiterbildung nehmen zu, aber verpuffen. Haufe. Abruf am Jan 08, 2026. https://www.haufe.de/personal/neues-lernen/weiterbildung-investitionen-oft-verschwendet_589614_491694.html

Digitale Lernumgebungen in der Arbeitswelt: Evaluationsergebnisse der Lern- und Aktionsplattform LEA des Mittelstand-Digital Zentrums Kaiserslautern

Johanna PFENNING, Ilknur ATAKLI-AHMED, Viola HELLGE

Institut für Technologie und Arbeit e.V.
Eisenbahnstraße 40-42, D-67655 Kaiserslautern

Kurzfassung: Digitale Lernplattformen bieten für KMU eine effiziente und orts- und zeitunabhängige Alternative zu klassischen Weiterbildungsangeboten und breite Möglichkeiten für ein Blended Learning bzw. arbeitsintegriertes Lernen. Die Lern- und Aktionsplattform LEA des Mittelstand-Digital Zentrums Kaiserslautern bietet ein vielfältiges Kursangebot rund um die Themen digitale Transformation, Künstliche Intelligenz, Nachhaltigkeit, IT-Sicherheit und Change Management. Die LEA-Plattform wird von KMU aus ganz Deutschland genutzt und regelmäßig evaluiert. Die Ergebnisse der Evaluation aus dem Jahr 2025 werden im Beitrag vorgestellt und diskutiert.

Schlüsselwörter: Online-Lernplattform, Lernpfade, Blended Learning, Künstliche Intelligenz, Digitalisierung, Nachhaltigkeit

1. Ausgangssituation

Aktuelle Trends wie Digitalisierung, KI und Nachhaltigkeit haben große Auswirkungen auf die aktuellen Kompetenzanforderungen. Lebenslanges Lernen und der Aufbau von Kompetenzen in diesen Bereichen werden zur strategischen Notwendigkeit (World Economic Forum, 2025). Besonders kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) stehen dabei vor großen Herausforderungen, da die Kompetenzanforderungen nicht nur einzelne Aufgaben und Prozesse, sondern auch weitreichendere Transformationsprozesse betreffen. Digitale Lernplattformen bieten KMU daher die Möglichkeit, selbstbestimmt und zielgerichtet Kenntnisse zu erarbeiten und bei Bedarf zu vertiefen. Darüber hinaus können sich die Teilnehmenden auf den Plattformen gezielt austauschen und von den Erfahrungen anderer Unternehmen lernen. Daraus ergibt sich eine zentrale Rolle für digitale Lernplattformen: Sie bieten die notwendige Infrastruktur, um Weiterbildung bedarfsgerecht, skalierbar und in Echtzeit an sich wandelnde Markt- und Kompetenzanforderungen anzupassen.

2. Digitale Lernplattformen und Lernpfade

In der überbetrieblichen, beruflichen Weiterbildung herrschen in Unternehmen in Deutschland immer noch klassische Lernformen, wie z.B. Seminare vor, obwohl arbeitsintegriertes Lernen zunehmend wichtiger wird (Erpenbeck & Sauter 2019; Dehnbostel 2024). Dabei können E-Learning-Angebote wie u.a. Online-Lernplattformen ein arbeitsplatznahes Lernen und einen selbstorganisierten Kompetenzaufbau wirksam unterstützen. Dazu muss bei ihrer Konzeption und Umsetzung auf eine didaktisch fundierte Gestaltung der Plattform und Lerninhalte,

sowie auf eine geeignete organisatorische Einbettung und auf eine technische Unterstützung der Lernenden im Umgang und bzgl. der Navigation auf der Plattform geachtet werden (O'Neill 2025). Erfolgsfaktoren für ein arbeitsplatzorientiertes Lernen mit Hilfe von Lernplattformen sind u.a. Interaktivität auf der Plattform, praxisnahe Aufgabenstellungen zum Transfer sowie personalisierte Lernpfade (Giannakos et al. 2022; Kerres 2024). Lernplattformen oder sog. Learning Management Systeme (LMS) können genutzt werden, um sog. Blended-Learning-Formate zu realisieren, die selbstgesteuertes E-Learning (z.B. Online-Kurse für Wissenserwerb) in Phasen mit Präsenzformaten (Reflexionsübungen, Diskussionen, Anwendungserprobung) verbinden (Erpenbeck u.a. 2015). Blended-Learning-Formate zeigen besonders gute Ergebnisse für die Vermittlung von komplexen, anwendungsorientierten Kompetenzen und für einen selbstorganisierten Kompetenzaufbau (Ahmad-Don et al. 2024; Erpenbeck & Sauter 2019).

LEA deckt als Online-Lernplattform mehrere Stufen des sog. Workplace Learnings hin zu einem überwiegend selbstorganisierten und kompetenzentwicklungs-orientierten Lernen ab. Die Plattform bietet sowohl E-Learning Kurse zum Aufbau von Fachwissen als auch Blended-Learning-Formate mit Workshops in Präsenz oder Online-/Live zur Reflexion und Diskussion und Präsentation von Lösungsansätzen für den Anwendungsfall im eigenen Unternehmen der Lernenden. Ebenfalls wird die Stufe des Social Learnings durch die Möglichkeit des kooperativen Lernens in der Community der Plattform (KI-Diskussionsforum) und die Bearbeitung von Transferaufgaben adressiert (Hart 2011; Erpenbeck & Sauter 2013; Erpenbeck u.a. 2015). Die Online-Lernplattform bietet den Rahmen für den Aufbau einer Community of Practice in den Themenbereichen digitale Transformation, Künstliche Intelligenz und Nachhaltigkeit. Die vielfältigen digitalen Lernbausteine, die auf einer Lernplattform eingesetzt werden können, bieten die Möglichkeit der Erweiterung didaktischer Optionen bspw. durch Gamification-basierte Formate (u.a. Online-Planspiel) oder die Einbindung von Open Educational Resources.

3. Die Lern- und Aktionsplattform LEA

LEA (www.lea.ita-kl.de) wurde vom Mittelstand-Digital Zentrum Kaiserslautern mit Förderung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie entwickelt. Ziel der Plattform ist es, Lernangebote zeit- und ortsunabhängig bereitzustellen und den Austausch zwischen den Zielgruppen - kleine und mittelgroße Unternehmen; Multiplikator*innen in der Region Rheinland-Pfalz und angrenzender Regionen - sowie den Expert*innen des Mittelstand-Digital Zentrums Kaiserslautern zu fördern. Technisch wird die Plattform über die webbasierte Lösung OpenOlat (Open Online Learning and Training) der frentix GmbH umgesetzt und kontinuierlich weiterentwickelt (frentix, o. J.).

Auf der Lernplattform werden derzeit ca. 60 Kurse zu verschiedenen Themenfeldern rund um die digitale Transformation angeboten. Die Lerninhalte werden von Expert*innen des Mittelstand-Digital Netzwerks erstellt. Die Themenfelder bieten Kurse zu den Grundlagen der Digitalisierung und der digitalen Transformation sowie zu aktuellen Trendthemen an. Diese sollen KMU bei ihren Prozessen, Strategien und Veränderungsvorhaben unterstützen. Konkret sind die Kurse den folgenden sieben Themenfeldern zugeordnet, die auf der Startseite der Plattform dargestellt sind und die Navigation durch die Kurse unterstützen: „Digitaler Transformationsprozess", „Digitalisierung von Prozessen und Produkten", „Digitalisierung in der Produktion",

„Nachhaltigkeit“, „Künstliche Intelligenz“, „Digitalisierungsstrategie und Geschäftsmodelle“ sowie „Mensch und Organisation in der Digitalisierung“. Weiterhin unterstützt eine Filtermöglichkeit nach Zielgruppen auf der Startseite die Navigation durch die zahlreichen Kurse. Demnach kann nach den Zielgruppen Betriebsrat, Geschäftsführung, Führungskraft, Fachkraft, Mitarbeitende oder HR-Mitarbeitende gefiltert werden. Zudem gibt es Videos, die die Nutzung der Plattform erläutern und weitere Unterstützung bieten.

Alle Kurse auf der Plattform sind einheitlich aufgebaut. Standardmäßig gibt es eine Informationsseite zum Kurs, ein Begrüßungsvideo, das die zentralen Inhalte des Kurses zusammenfasst, eine Kursübersicht, die alle Inhalte und Module des Kurses mit den jeweiligen Formaten auflistet, Kursmitteilungen, in denen Änderungen oder neue Module in einem Kurs angekündigt werden, die einzelnen Themenmodule sowie ein Quiz zum Abschluss des Kurses. Für die Kurserstellenden gibt es Vorlagen und Leitfäden, an denen sie sich orientieren können. Zudem stellt das Mittelstand-Digital Zentrum Kaiserslautern durch die Prüfung der erstellten Kurse stets die Qualität der Lerninhalte sicher. In einem Kurs können unterschiedliche Formate wie Videos, Podcasts, Texte, Checklisten, Webseiten, Gamification-Elemente etc. genutzt und eingebaut werden. Mithilfe elektronischer Selbsttests am Ende eines Moduls oder eines Kurses können Teilnehmende ihr Wissen überprüfen und nach Abschluss eines Kurses eine Teilnahmebestätigung erhalten.

Um die Kollaboration und Diskussion der Teilnehmenden zu ermöglichen, wurde in 2025 zudem ein Diskussionsforum eingerichtet. Hier werden unterschiedliche Foren zum Thema Künstliche Intelligenz bereitgestellt, in denen Teilnehmende Fragen stellen können, die von den Expert*innen im Zentrum, oder anderen Teilnehmenden beantwortet werden können und so den Austausch anregen sollen.

4. Evaluation der Lern- und Aktionsplattform

Die Evaluation der LEA-Plattform erfolgt jährlich und dient der systematischen Erhebung von Nutzer*innenfeedback hinsichtlich der inhaltlichen Qualität und Usability der Plattform. Basierend auf den Ergebnissen der Evaluation werden entsprechende Anpassungen vorgenommen wie bspw. die thematische Ausrichtung der Kurse im folgenden Jahr. Die Evaluation wird mit Hilfe eines Online-Fragebogens durchgeführt, der über LimeSurvey umgesetzt und per E-Mail an alle registrierten Nutzenden der LEA-Plattform versendet wird. Zum Erhebungszeitpunkt im September 2025 umfasste die Grundgesamtheit 1682 Personen. Von diesen füllten 106 Personen den Fragebogen vollständig aus (n=106 für Abbildungen 1-4).

Der Fragebogen setzt sich aus einer Kombination aus geschlossenen und offenen Fragen zusammen. Er ist so strukturiert, dass zunächst demographische Merkmale erhoben werden. Daran schließen sich vier thematische Abschnitte an, die den Aufbau und die Struktur der Plattform, die Benutzerfreundlichkeit, die Themen und Inhalte der angebotenen Kurse sowie die individuelle Lernerfahrung der Nutzenden adressieren. Ebenfalls wurden Fragen zur Zahlungsbereitschaft der Nutzenden integriert, um die Möglichkeit einer zukünftigen Finanzierung der LEA-Plattform zu evaluieren.

Die Verteilung der Teilnehmenden nach Geschlecht ist ausgeglichen. Hinsichtlich der Altersstruktur zeigt sich eine Konzentration der Befragten in den Altersgruppen 26-35 Jahre (ca. 26%), sowie in der Gruppe über 56 Jahre (ca. 37%). 67% der Teilnehmenden stammen aus kleinen und mittleren Unternehmen. Weitere Befragte gehören zur Gruppe der Multiplikatoren, darunter bspw. Vertreter*innen von Industrie-

und Handelskammern sowie Wirtschaftsförderungen (15%), oder sind Teil des Mittelstand-Digital Netzwerkes (8%). Unter die Kategorie „Sonstige“, die 10% der Teilnehmenden umfasst, sind u.a. Selbstständige oder Studierende zusammengefasst.

Der erste Themenabschnitt befasst sich mit dem Aufbau und der Struktur der Plattform. Die Teilnehmenden bewerteten die entsprechenden Aussagen anhand einer fünfstufigen Likert-Skala von „stimme zu“ über „stimme eher zu“, „teils/teils“ und „stimme eher nicht zu“ bis „stimme nicht zu“. Die Ergebnisse zeigen, dass die Mehrheit der Befragten den Aussagen zustimmte oder eher zustimmte, wonach sowohl die Themenübersicht als auch die Kursliste eine hilfreiche Unterstützung bei der Auswahl geeigneter Kurse darstellen. Darüber hinaus gaben die Teilnehmenden überwiegend an, sich auch innerhalb der Kurse gut orientieren zu können (vgl. Abb. 1).

Abbildung 1: *Antworten der Teilnehmenden auf die Fragen zu Aufbau und Struktur der Plattform.*

Der zweite Themenabschnitt widmet sich der Benutzerfreundlichkeit der Plattform. Die Mehrheit der Teilnehmenden stimmte den Aussagen zu oder eher zu, dass der Anmelde- bzw. Log-in-Prozess angemessen gestaltet ist und dass das Starten von Kursen, die Navigation innerhalb der Kurse sowie das Auffinden von Kursen problemlos möglich ist. Ebenso bestätigten die Teilnehmenden überwiegend, dass die LEA-Plattform insgesamt benutzerfreundlich aufgebaut ist (vgl. Abb. 2).

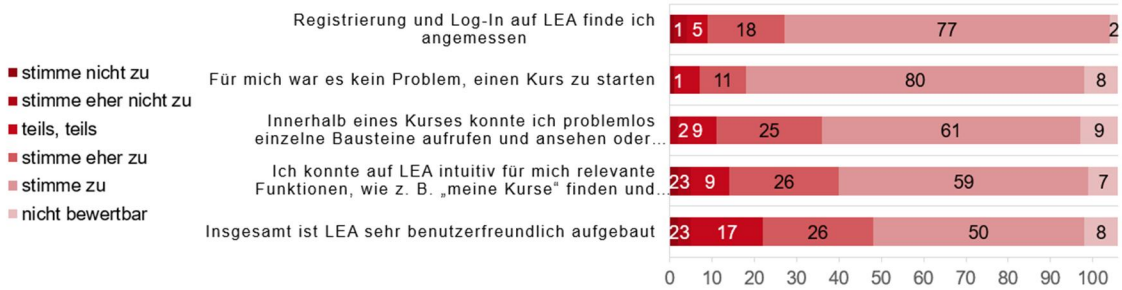


Abbildung 2: *Antworten der Teilnehmenden auf die Frage zur Benutzerfreundlichkeit der Plattform.*

.

Der dritte Themenabschnitt behandelt die Themen und Inhalte der Kurse. Die Mehrheit der Teilnehmenden stimmte den Aussagen zu oder eher zu, dass die Kursinhalte dem aktuellen Weiterbildungsbedarf im Bereich Digitalisierung entsprechen und die bereitgestellten Informationen den Erwartungen an das jeweilige Themenfeld gerecht werden. Ebenso bestätigten die Teilnehmenden überwiegend, dass die Themenkomplexität den Erwartungen entspricht, die Kurse praxisnahe Ansatzpunkte bieten und die Inhalte abwechslungsreich gestaltet sind (vgl. Abb. 3).

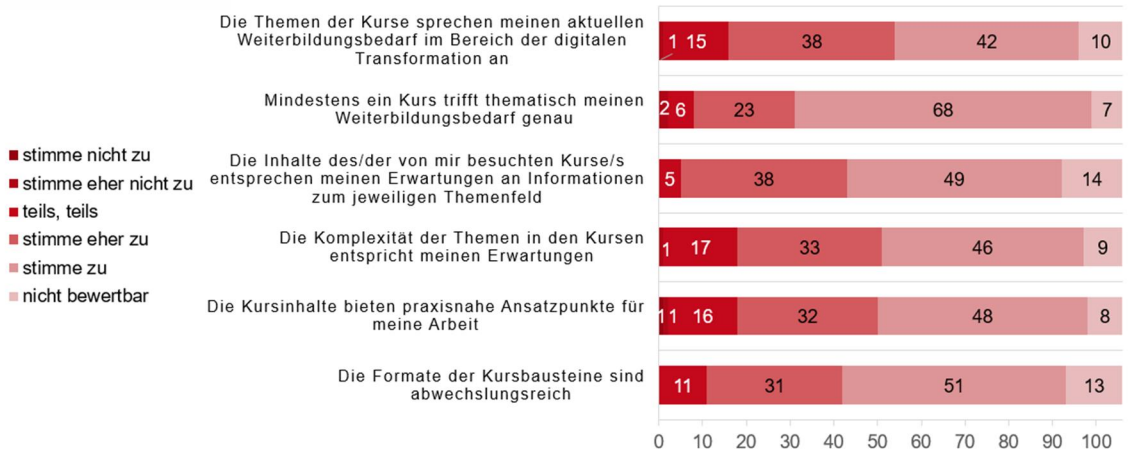


Abbildung 3: *Antworten der Teilnehmenden auf die Fragen nach den Themen und Inhalten der Kurse.*

Der letzte Themenabschnitt befasst sich mit der persönlichen Lernerfahrung der Teilnehmenden. Die Mehrheit stimmte den Aussagen zu oder eher zu, dass das „Durchstöbern“ der Kursangebote auf der Plattform Freude bereitet und das Interesse am eigenständigen Weiterlernen hoch ist. Die in den Kursen enthaltenen Quizze wurden als motivierender Anreiz zur Wiederholung der Inhalte wahrgenommen, und die vermittelten Inhalte werden als nützlich für die eigene berufliche Praxis eingeschätzt. Die Ausstellung einer Teilnahmebescheinigung war demgegenüber kein ausschlaggebender Faktor, um einen Kurs bis zum Ende zu absolvieren. Insgesamt gaben die meisten Teilnehmenden an, dass sie die LEA-Plattform an Kolleginnen und Kollegen oder Bekannte weiterempfehlen würden (vgl. Abb. 4).

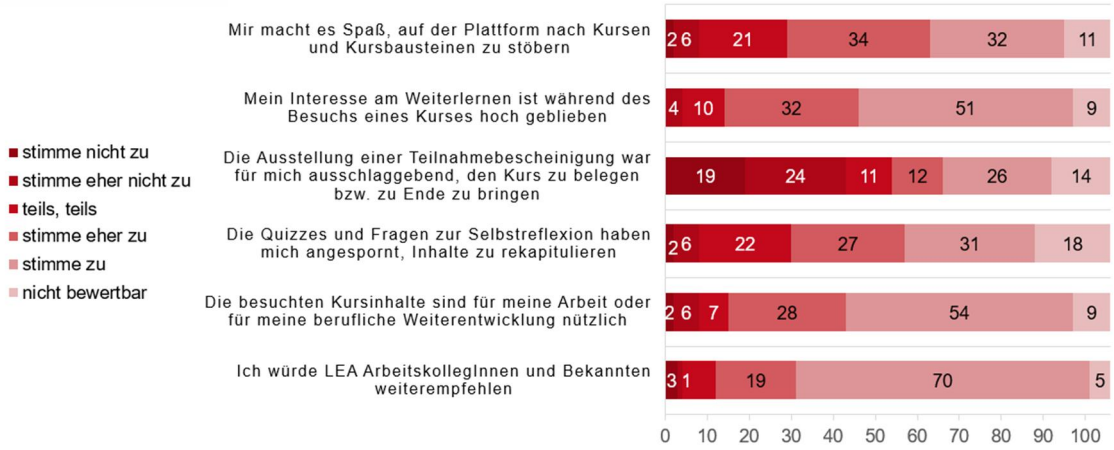


Abbildung 4: *Antworten der Teilnehmenden auf die Fragen nach der persönlichen Lernerfahrung.*

Der abschließende Abschnitt zur Zahlungsbereitschaft bzw. Fortführung der LEA-Plattform über die aktuelle Förderlaufzeit hinaus zeigte, dass 82 % der Befragten der Ansicht sind, dass eine Plattform wie LEA weiterhin als kostenfreies Weiterbildungsangebot für KMU gefördert werden sollte. Im Falle einer kostenpflichtigen Nutzung wären die Teilnehmenden insbesondere an Kursen im Bereich KI interessiert. Bezüglich des Zahlungsmodells präferierten die Befragten entweder eine einmalige Zahlung für den dauerhaften Zugang zu einem einzelnen Kurs oder eine jährliche Gebühr für den Gesamtzugang zur LEA-Plattform.

5. Diskussion und Fazit

Die Evaluation der LEA-Plattform hat ergeben, welche Aspekte der Plattform von den Teilnehmenden positiv wahrgenommen werden und welche Funktionen oder Inhalte ihnen besonders wichtig sind. Es lässt sich feststellen, dass die unterschiedlichen inhaltlichen Formate der Module innerhalb der Kurse bei den Teilnehmenden auf positive Resonanz stoßen. Eine weitere spannende Erkenntnis ist, dass die Verwendung von Quizzes und Fragen zur Selbstreflexion die Motivation der Teilnehmenden fördert, die vermittelten Inhalte zu verinnerlichen.

Eine weitere Erkenntnis ist, dass die kostenfreie Bereitstellung der LEA-Plattform zwar bevorzugt wird, jedoch am ehesten noch für KI-bezogene Kurse eine Zahlungsbereitschaft besteht. Dies unterstreicht die Relevanz der aktuellen Themenfelder der betrieblichen Weiterbildung.

Für die Gewährleistung der Qualität der Lerninhalte sowie der Usability ist die Festlegung eindeutiger Kursstandards für die Erstellung von Kursen von zentraler Bedeutung. Zudem ist die Bereitstellung von Vorlagen und Leitfäden für die Kurserstellenden essenziell.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die LEA-Plattform eine geeignete, niedrigschwellige Möglichkeit für KMU darstellt, dass ihre Mitarbeitenden sich zu Themen der digitalen Transformation selbstbestimmt und zielgerichtet weiterbilden können und dass dabei Motivation bei den Teilnehmenden erzeugt wird.

6. Literatur

Ahmad-Don, R.; Suffian Mohd Zahari, A.; Abdullah, Z. (2024). Online Training in the workforce: A recent systematic review. In: International Journal of Entrepreneurship and Management practices Vo. 7, Iss. 28, 2024, p. 376-393.

Dehnbostel, P. (2024): Neugestaltung der betrieblichen Weiterbildung in der digitalen Transformation. In: Erwachsenenbildung, 51, 2024, S. 63-73.

Erpenbeck, J.; Sauter, S.; Sauter, W. (2015). E-Learning und Blended Learning. Selbstgesteuerte Lernprozesse zum Wissensaufbau und zur Qualifizierung. Springer Gabler, Wiesbaden.

Erpenbeck, J.; Sauter, W. (2019). Stoppt die Kompetenzkatastrophe! Wege in eine neue Bildungswelt. 2.überarb. und erw. Auflage, Springer, Berlin.

Erpenbeck, J.; Sauter, W. (2013). So werden wir lernen! Kompetenzentwicklung in einer Welt fühlender Computer, kluger Wolken und sinnsuchender Netze. Springer Gabler.

frentix. (o. J.). Frentix – Wissen vermitteln. Abgerufen 5. Januar 2026, von https://www.frentix.com/

Giannakos, M. N.; Mikalef, P.; Pappas, I. O. (2022). Systematic Literature Review of E-Learning Capabilities to Enhance Organizational Learning. In: Information Systems Frontiers 24/2024, p. 619-635.

Hart, J. (2010). 5 stages of workplace learning. Centre for Learning & Performance Technologies (C4LPT)

Kerres, M. (2024). Mediendidaktik. Lernen in der digitalen Welt. 6. Auflage, DeGruyter, Berlin/Boston.

O'Neill, A. (2025). Transfer of workplace e-learning: A systematic literature review. In: Social Sciences & Humanities Open 11/2025.

World Economic Forum. (2025, Januar 17). *Reskilling and upskilling: Lifelong learning opportunities*. World Economic Forum. https://www.weforum.org/stories/2025/01/ai-and-beyond-how-every-career-can-navigate-the-new-tech-landscape/

Danksagung: Die Forschung in diesem Beitrag wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) im Rahmen des Netzwerks Mittelstand-Digital im Mittelstand-Digital Zentrum Kaiserslautern gefördert.

Vom Rapid Plant Assessment zur ganzheitlichen Arbeitssystemanalyse – Implikationen für die arbeitswissenschaftliche Lehre

Marvin GOPPOLD[1], Thilo GAMBER[2]

[1] Zeppelin Rental GmbH, Graf-Zeppelin-Platz 1, D-85748 Garching
[2] DHBW Mannheim, Coblitzallee 1-9, D-68163 Mannheim

Kurzfassung: Der Beitrag untersucht, wie Exkursionen im Rahmen der Hochschullehre vorbereitet werden sollten, um auf Basis von Rapid Plant Assessments eine ganzheitliche Analyse von Arbeitssystemen vornehmen zu können. Methodisch basiert die Auseinandersetzung auf der qualitativen Inhaltsanalyse von studentischen Arbeitsanalysen (n=9) in 5 Arbeitssystemen und deren Reflexionen mit deduktiven Kategoriensystemen zur Produktionstheorie und arbeitswissenschaftlichen Theorie. Die sehr auf der Produktionstheorie aufbauenden Ergebnisse und ansonsten arbeitswissenschaftlich auf das Arbeitssystemmodell zurückgreifenden Arbeitsanalysen der Studierenden werden im Anschluss zur Gestaltung der zukünftigen Hochschullehre auf Basis des Berliner Modells diskutiert.

Schlüsselwörter: Scholarship of Teaching and Learning, Hochschullehre, Duales Studium, Arbeitsanalyse, Qualitative Inhaltsanalyse

1. Curriculare Einordnung der Lehrveranstaltung am DHBW CAS

In vielen Führungspositionen wird im Rahmen von Transformationsprozessen von Entscheidungsträgern die Fähigkeit zur ganzheitlichen und schnellen Beurteilung von Arbeitssystemen erwartet (vgl. z.B. ifaa, 2023). Das Center for Advanced Studies (CAS) der Dualen Hochschule Baden-Württemberg (DHBW) in Heilbronn adressiert mit dem Studiengang Master Executive Engineering eine kritische Lücke des hochschulischen Bildungsangebots an der Schnittstelle von Technik und Management. Das Curriculum reagiert auf die praktische Herausforderung vieler Unternehmen und Menschen, dass Mitarbeitende mit viel technischer Expertise oft ohne hinreichende Führungsausbildung in Leitungspositionen aufsteigen.

Daher wird im Studiengang unter anderem die arbeitswissenschaftliche Perspektive an der bereits vorhandenen technischen Sichtweise angeschlossen, um ein tiefes Verständnis für die Verknüpfung von Mensch, Technik und Organisation zu fördern.

Die arbeitswissenschaftliche Ausbildung zeichnet sich traditionell durch eine tiefgreifende Verbundenheit mit dem industriellen Arbeitssystem aus. An der DHBW wird diese Verbindung durch das Prinzip der Dualität strukturell verankert: Da alle Studierenden fest in ein Partnerunternehmen integriert sind, ist der Transfer zwischen wissenschaftlicher Theorie und betrieblicher Praxis zur fundierten Analyse komplexer Arbeitssysteme und deren Gestaltung auf unterschiedlichen Ebenen im individuellen Lernprozess bereits tief im Curriculum etabliert.

2. Beschreibung Lehrveranstaltung und Forschungsfrage

2.1 Lehrveranstaltung Technology in Practice

Im Studiengang Master Executive Engineering verfolgt das Modul „Technology in Practice“ einen zum Teil persönlichkeitsorientierten curricularen Ansatz, der im anschließenden Transfer über die Perspektive des Einzelnen hinaus die Erfahrungen und das damit verbundene Wissen institutionalisiert. Hierfür wird der Lernraum für jede Veranstaltung erweitert, indem die Arbeitssysteme der verschiedenen Studierenden gemeinsam im Rahmen von Exkursionen besucht werden. In diesem Lehr-Lernsetting fungiert der jeweilige Studierende vor Ort als technischer Experte seines eigenen Arbeitssystems, was ein Peer-to-Peer-Learning durch Perspektivenwechsel ermöglicht.

Das Ziel, welches durch diese methodische Gestaltung des Lernprozesses erreicht werden soll, ist, die Sensitivität für komplexe Abläufe zu steigern sowie die ganzheitliche Wahrnehmung und Beurteilung von Arbeitssystemen zu erlernen – neben Verschwendungen und Ineffizienzen auch schlechte Arbeitsgestaltung und -organisation innerhalb kürzester Zeit objektiv zu identifizieren.

Zur methodischen Qualifizierung dieser Werksbesuche ist das Instrument des Rapid Plant Assessment (RPA) nach Goodson (2002) in das Modul integriert. Auf Basis dieser wissenschaftlichen Grundlage entwickeln die Studierenden einen allgemeingültigen Kriterienkatalog für ein Screeninginstrument, das eine ganzheitliche Analyse der Dimensionen Mensch, Technologie und Organisation (MTO) sicherstellen soll (vgl. Strohm und Escher 1997).

Der Prozess folgt einem strukturierten Ablauf: Vor der Begehung erfolgt eine explizite Rollenverteilung, um Koordinationsaufgaben und spezifische Beobachtungsschwerpunkte (z. B. „Produktionsorganisation und Layout“, „Sicherheit, Sauberkeit und Ordnung“ oder „Visuelles Management und Informationssysteme“,…) zuzuweisen. Im Anschluss an den Rundgang werden die gewonnenen Erkenntnisse im Team konsolidiert. Die Ergebnisse münden in eine abschließende Feedbackrunde für das gastgebende Unternehmen, in der neben allgemeinen Analysen insbesondere Best Practices hervorgehoben und konkrete Verbesserungspotenziale für das jeweilige Arbeitssystem aufgezeigt werden. Dieser duale Austausch fördert somit nicht nur die Kompetenzentwicklung der Studierenden, sondern bietet auch den beteiligten Unternehmen einen wertvollen externen Blick auf ihre Prozesse.

2.2 Forschungsfrage

Um von der Technologieorientierung der Lehrveranstaltung kommend die holistische Wahrnehmung eines Arbeitssystems zu fördern, wird im Rahmen von Scholarship of Teaching and Learning (SoTL) die Erforschung und Verbesserung der gegenwärtigen Lehrveranstaltung vorgenommen.

Aufgrund der Ausgangsbasis des RPA stellt sich die Frage, welche arbeitswissenschaftlichen Indikatoren in der Lehre zum Methodeneinsatz bei der ganzheitlichen Bewertung von Arbeitssystemen ergänzt werden müssen, damit Studierende neben den produktionstheoretischen Dimensionen auch lernen, Themen der menschengerechten Arbeitsgestaltung (vgl. z.B. Rohmert 1993) in Arbeitssystemen zu beurteilen?

Darauf wird diskutiert, inwiefern eine theoretische Analyse von arbeitswissenschaftlichen Modellen in der Lehre dazu beitragen könnte, Studierende künftig bei der selbstständigen Identifikation der fehlenden Indikatoren zur Bewertung von menschengerechter Arbeitsgestaltung zu unterstützen?

3. Methodik

Es wird eine zusammenfassende qualitative Inhaltsanalyse (vgl. Mayring 2022) der studentisch erstellten RPA Beobachtungsinstrument durchgeführt, welche aus 10 Skalen mit insgesamt 50 Items besteht. Dieses Ausgangsmaterial wird um die Dokumentationen zur Beurteilung von industriellen Arbeitssystemen und den Reflexionsberichten der Studierenden zum Einsatz der selbst erstellten Beobachtungsvorlagen zur Explikation ergänzt. Die folgenden fünf Arbeitssysteme wurden im Rahmen von Exkursionen mittels eigener RPA Beobachtungen (jeweils N=9) beurteilt: Das Technikum eines Autozulieferunternehmens, die Teilefertigung und Montage eines Hersteller von Pressen- und Umformtechnik, die Endmontage eines Automobilherstellers, die Teilefertigung eines Befestigungsspezialisten und die Logistik in einem Technologiekonzern der Elektrotechnik.

Die Richtung der Analyse ist das Verständnis und die Wahrnehmung von Arbeitssystemen durch die Studierenden. Als deduktives Kategoriensystem werden theoriegeleitet zunächst thematische Kategorien aus zu den eher RPA nahen systemtheoretischen Produktionstheorien (vgl. Dyckhoff 2006) nach Helbing 2018 übernommen. Das arbeitswissenschaftliche deduktives Kategoriensystem wird aus etablierten arbeitswissenschaftlichen Analysemethoden (vgl. z.B. Dunckel, 1999) erstellt. Das Ausgangsmaterial hierfür sind zusammenfassende Beschreibungen der iqpr Datenbank (iqpr GmbH 2010) für 22 ausreichend beschriebene Instrumente. Das Material für das arbeitswissenschaftliche Kategoriensystem wird in einem Gesamtablauf kodiert und im Anschluss das gesamte Kategoriensystem vor der historischen Genese der Arbeitsanalyseinstrumente und der arbeitswissenschaftlichen Theorie revidiert.

Aus einem Vergleich der zugeordneten Kategorien werden fehlende Indikatoren des studentischen Beobachtungsinstruments identifiziert sowie mit den Reflexionen der Studierenden zum eigenen Beobachtungsinstrument expliziert. Als Auswertungseinheiten werden die Modelle und Skalenbeschreibungen der arbeitswissenschaftlichen Analysemethoden verwendet, sodass die Kodiereinheit lediglich ein Wort und die Kontexteinheit einen gesamten Abschnitt umfassen können. Das Material wird in einem Durchlauf zunächst in das produktionstheoretische Kategoriensystem kodiert die Iteration im Kategoriensystem am Ende einmalig durchgeführt. Im Anschluss werden alle arbeitswissenschaftlichen Bezüge in das arbeitswissenschaftliche Kategoriensystem kodiert und ebenfalls einmalig das Kategoriensystem iteriert.

4. Ergebnisse

Das Kategoriensystem nach Helbing (2018, Abbildung 3.13) hat 19 produktions- und fabrikspezifizierende Kategorien mit insgesamt 99 Subkategorien für die Einordnung vorgesehen. Das Kategoriensystem für die arbeitswissenschaftliche Sichtweise baut seine 5 Kategorien mit 22 Subkategorien auf 361 Codes auf und ist entlang theoretischer, historisch begründeter Modellvorstellungen für die deduktive Nutzung abstrahiert worden (vgl. Abbildung 1).

Das studentische Beobachtungsinstrument ist nach qualitativer Inhaltsanalyse und Abwägung der pro Item besser passenden Kategorie als überwiegend produktionstheoretisch und weniger arbeitswissenschaftlich fundiert eingeschätzt worden (35 gegenüber 15 Items). Es fällt auf, dass die Studierenden insbesondere auf den Modellvorstellungen eines Arbeitssystems das Beobachtungsinstrument gestaltet haben (31

Items) und die restlichen 19 Items vor allem den soziologischen und tätigkeitstheoretischen Kategorien entsprechen.

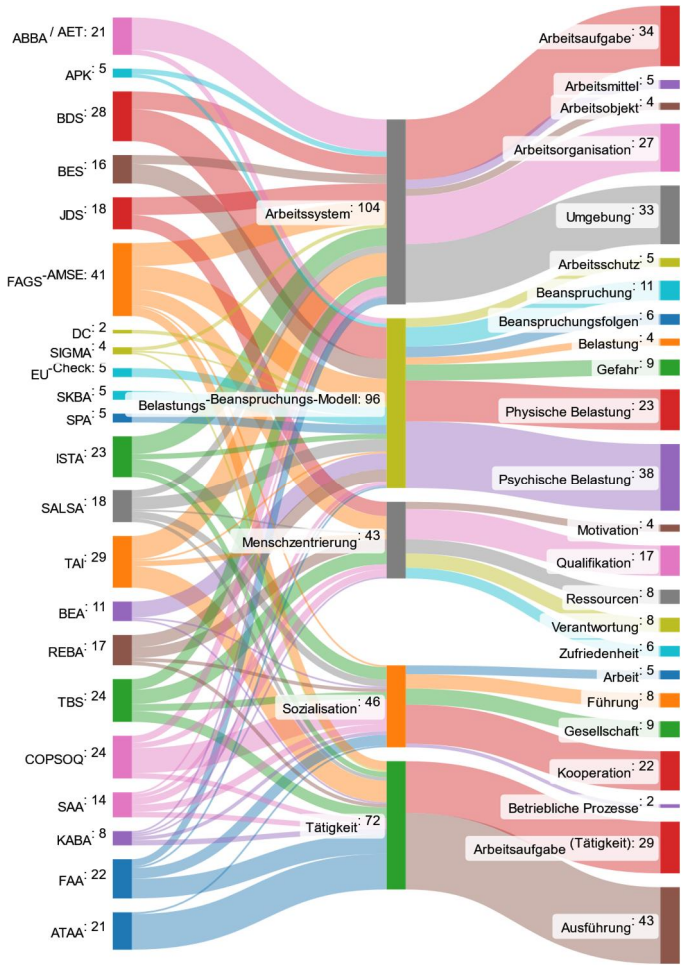


Abbildung 1: *Arbeitswissenschaftliches Kategoriensystem: Links Arbeitsanalyseinstrument, Mitte: Kategorien, Rechts: Subkategorien (eigene Abbildung).*

In der Methodenkritik äußern die Studierenden Zweifel an der Eignung ihres Beobachtungsinstruments hinsichtlich der Eignung für Arbeitssysteme, welche keine Serienfertigung sind (n=3). Darüber hinaus fiel es den Studierenden schwer, Bewertungen ohne Skalenanker oder Vignetten mit ihrem Bewertungsinstrument durchzuführen (n=3). Zudem ist der Zeitbedarf zur validen Bewertung teilweise höher als die verfügbare Zeit in den Arbeitssystemen gewesen, es sind redundante Items aufgefallen und die Berechnungsweise des Bewertungsergebnisses hat keine unvollständigen Ergebnisse vorgesehen (jeweils n=1). Aus den Untersuchungsergebnissen kann aus arbeitswissenschaftlicher Sichtweise eine geringe Kategorienausprägung für die Menschzentrierung (n=2) und das Belastungs-Beanspruchungsmodell (n=4) ergänzt werden. Beispielsweise existieren keine Items mit Bezug zu Arbeitsaufgaben, kooperativer und kollaborativer Arbeitsorganisation oder physischen und psychischen Belastungen im studentischen Beobachtungs-instrument.

Die qualitative Inhaltsanalyse der studentischen Beobachtungen und Reflexionen basiert auf 224 Codes, wovon nur 36 der arbeitswissenschaftlichen Sichtweise zugeordnet werden. Die produktionstheoretischen Kategorien sind wie folgt verteilt: Fertigungssystem (n=39), Umschlagsysteme und Sonstige (je n=22), Sicherheitssysteme

(n=16), Technische Dienstleistungs- und Systemlenkungssysteme (je n=14), Informationsfluss- und Lagersysteme (je n=13), Bauwerk- und Prüfsysteme (je n=12) und Schutzsysteme (n=11). Es muss für die Interpretation der Ergebnisse allerdings die Kongruenz von einigen produktionstheoretischen mit arbeitswissenschaftlichen Kategorien wie etwa Informationsflusssysteme, Lager- oder Umschlagsysteme o.ä. berücksichtigt werden.

In den Reflexionen haben sich die Studierenden in den arbeitswissenschaftlichen Kategorien am häufigsten mit den beobachteten Tätigkeiten (n=12) und hierbei zu gleichen Teilen mit Arbeitsaufgaben und deren Ausführung beschäftigt. Das Arbeitssystem (n=11) ist hinsichtlich Arbeitsaufgaben mit Schwerpunkt zur Aufteilung zwischen Mensch und Technik (n=6), Arbeitsmittel (n=3) und Umgebung (n=3) diskutiert worden. Zudem haben Sie sich mit Beanspruchungen (n=6) auf Basis der Beobachtungen auseinandergesetzt. Sehr gering ist die Reflexion mit soziologischen Aspekten der Arbeit ausgefallen (n=1), wohingegen die Qualifikationen (n=3), Motivation (n=2) und Zufriedenheit (n=1) der beobachteten Arbeitspersonen in den Arbeitssystemen während der Reflexionen beschrieben worden sind.

5. Diskussion und Fazit

Die Ergebnisse werden vor dem Berliner Modell (z.B. Peterßen 2006) für didaktische Planung von Lernprozessen interpretiert. Zunächst wird daraus ersichtlich, dass das Ziel einer ganzheitlichen Arbeitsanalyse von Arbeitssystemen basierend auf RPA nicht gelungen ist. Um diese Zielerreichung in Zukunft sicherzustellen, müssen daher Anpassungen im Lehr-Lernprozess vorgenommen werden. Aus der kritischen Auseinandersetzung mittels Bedingungsanalyse wird deutlich, dass die Bedingungen für zur Zielerreichung der ganzheitlichen Arbeitsanalyse im CAS der DHBW sehr gut geeignet sind. Gleiches gilt für die persönlichen und kulturellen Voraussetzungen aller Beteiligten, sodass die Implikationen der Ergebnisse direkt in die Gestaltung des Lehr-Lernprozesses eingebracht werden können.

Die Lehrveranstaltung soll daher Veränderungen vor einem weiterhin persönlichkeitsorientierten Hintergrund der jeweiligen studentischen Arbeitsplätze erfahren, weil hierbei von den größtmöglichen Lerneffekten ausgegangen wird. Daher soll in der ersten Lerneinheit zunächst das MTO-Modell (Strohm und Escher 1997) vorgestellt werden, welches die Studierenden in ihren Heimatunternehmen in bekannten Arbeitssystemen als Hausarbeit im Detail erarbeiten sollen und den unternehmerischen Fokus der kommenden Arbeitsanalyse möglichst genau beschreiben. Die Auseinandersetzung wird in der zweiten Lerneinheit gemeinsam vor dabei durch die Lehrperson eingebrachten passenden arbeitswissenschaftlichen Konzepten wie Arbeitssystem, Belastungs-Beanspruchungsmodell mit praxisnahen Erhebungsinstrumenten wie Leitmerkmalmethoden oder Screeninginstrumenten für psychische Belastungen oder auch der menschzentrierten Sichtweise auf Arbeit mit Kompetenzen, Motivation und Zufriedenheitsdimensionen angereichert. Erst im Anschluss daran wird in der dritten Lerneinheit das RPA als mögliches Grundkonzept für die Beurteilung eingeführt und die Skalen und Items einer kritischen Reflexion vor den jeweils individuellen Schwerpunkten der Arbeitsanalysen unterworfen.

Mit diesen Maßnahmen soll eine anschließende ganzheitliche Erhebung von Arbeitssystemen und den Fragestellungen menschengerechter Arbeit in den zukünftigen Durchführungen der Lehrveranstaltung sichergestellt werden. Dazu muss jedoch auch eine weitere Unterstützung bei der Erstellung des Erhebungsinstruments eingeplant

werden, was etwa über ein Review des Lehrenden zu typischen methodischen Schwächen, wie Item- und Skalenkonstruktion, Rating mit und ohne Skalenanker oder über Testvignetten zur Überprüfung der Passung auf viele unterschiedliche Arbeitssysteme umgesetzt werden soll.

Eine Limitation der Untersuchung stellt beispielsweise die methodische Vorgehensweise der einmaligen Revision des Kategoriensystems dar, weil es hierzu aus quantitativer Sicht zu Verzerrungen durch falsch positive Zuordnungen bei vielen theoretischen Ansprüchen einzelner Modelle als Repräsentanten der Kategorien auf Abbildungsmerkmale von Arbeit kommt. Hier müsste für weitere fachwissenschaftliche Nutzung der vorhandenen Daten eine deutlich vertiefte Auseinandersetzung mit mehreren weiteren Revisionen des Kategoriensystems als auch der Schnittmengen der einzelnen Modelle erfolgen. Zudem stellt die Stichprobe der Arbeitsanalyseinstrumente keine repräsentative Auswahl der gegenwärtigen Vorgehensweisen der arbeitswissenschaftlichen Disziplin dar, weil z.B. durch neue Erkenntnisse nicht mehr verwendete Instrumente enthalten sein können.

6. Literatur

Dunckel H (1999) Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren. Zürich: Vdf-Hochschulverlag.
Dyckhoff H (2006) Produktionstheorie: Grundzüge industrieller Produktionswirtschaft. Berlin: Springer.
Goodson RE (2002) Read a plant fast Toolkit. Havard Business Review, May:3-11.
Helbing KW (2018) Handbuch Fabrikprojektierung. Berlin: Springer.
Peifer Y (2023) Künstliche Intelligenz erfolgreich einführen. Orientierungshilfen für Führungskräfte. Düsseldorf: ifaa Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.).
iqpr GmbH (2010) Online-Datenbank Assessmentinstrumente. http://www.assessment-info.de/assessment/seiten/datenbank/gesamtliste/gesamtliste-de.asp
Mayring P (2022) Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken. Weinheim: Beltz.
Peterßen WH (2006) Handbuch Unterrichtsplanung: Grundfragen, Modelle, Stufen, Dimensionen. München: Oldenbourg.
Rohmert W (1993) Arbeitsgestaltung und Arbeitsstudien. In: Wittmann W (Hrsg.), Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre, Teilbd. 1. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 120–131.
Strohm O, Escher OP (1997) Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten: Ein Mehr-Ebenen-Ansatz unter besonderer Berücksichtigung von Mensch, Technik und Organisation. Zürich: Vdf-Hochschulverlag.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Future Skills Radar: Neue Ergebnisse einer Metaanalyse von Zukunftskompetenzen

Alexander KARAPIDIS[1], Bernd DWORSCHAK[1], Leonie KUHN[2], Pia MOZER[2], Kathrin SCHNALZER[1], Helmut ZAISER[1], Katharina HÖLZLE[1,2]

[1] Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart
[2] Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart, Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart

Kurzfassung: Die Frage, welche Kompetenzen heute und in Zukunft wahrscheinlich von besonderer Bedeutung sein werden, um die tiefgreifend veränderten Anforderungen der (Arbeits-)Welt von morgen erfüllen zu können, wird in Wissenschaft und Forschung umfassend diskutiert. Zur Bearbeitung dieser Frage werden im Forschungsschwerpunkt Future Skills der „Fraunhofer Heilbronn Forschungs- und Innovationszentren HNFIZ“ Daten aus Future-Skills-Studien in einer Metaanalyse ausgewertet. Der Beitrag behandelt die neuesten Ergebnisse der Metaanalyse und beschreibt das „Future Skills Radar“, das einen Online-Überblick über die erfassten Studien und Ergebnisse der Metaanalyse gibt.

Schlüsselwörter: Future Skills, Zukunftskompetenzen, Future Skills Radar, Future-Skills-Studien, Metaanalyse

1. Einführung

Der Beitrag steht im Kontext der Forschung zu ‚Future Skills‘ bzw. Zukunftskompetenzen. Die Fragestellung, welche Kompetenzen heute und in Zukunft wahrscheinlich von besonderer Bedeutung sein werden, um tiefgreifend veränderte Anforderungen der Arbeitswelt und Gesellschaft von morgen erfüllen zu können, steht im Mittelpunkt der Forschung zu ‚Future Skills‘. Diese werden nach Kirchherr et al. (2018) als „Fähigkeiten, die […] für das Berufsleben und/oder die gesellschaftliche Teilhabe deutlich wichtiger werden – und zwar über alle Branchen und Industriezweige hinweg“ verstanden.

In der Future-Skills-Forschung spielt die Unterscheidung verschiedener Arten von Kompetenzen eine wesentliche Rolle. Das Kompetenzmodell von Gnahs (2010) unterscheidet die Klasse der fachlichen, in bestimmten Wirtschafts-, Berufs- und Unternehmensbereichen spezifisch notwendigen Kompetenzen von drei überfachlichen Klassen bereichsunabhängig notwendiger Kompetenzen: den persönlichen bzw. personalen, Sozial- und Methodenkompetenzen. Personale Kompetenzen beziehen sich auf die Fähigkeit und Bereitschaft, sich selbst weiterzuentwickeln und Leistungsbereitschaft zu entfalten. Sozialkompetenzen betreffen Kommunikation, Kooperation und Konfliktlösung. Methodenkompetenzen ermöglichen eine selbstständige und flexible Lösung von Aufgaben mit unterschiedlichen Methoden und Verfahren (Kopf et al. 2010).

Zur Bearbeitung der Fragestellung der Future Skills-Forschung werden im Forschungsschwerpunkt Future Skills der „Fraunhofer Heilbronn Forschungs- und Innovationszentren HNFIZ“ die Daten aktueller Studien zu diesem Schwerpunkt im

„Future Skills Radar“ erfasst, analysiert und im Überblick dargestellt (https://www.globalupskill.de/de/themenbereiche/future-skills-radar-.html#cop1). Die Ergebnisse der Metaanalyse der ersten 29, bis 2023 erschienenen Sample-Studien, wurden in einer Metastudie publiziert (Dworschak et al. 2025). In diesem Beitrag diskutieren wir die Ergebnisse der Metaanalyse der bis Herbst 2025 erschienenen 38 Sample-Studien. Davor erfolgt in Kapitel 2. eine Erläuterung des Vorgehens bei Recherche und Auswahl der auszuwertenden Studien sowie der Aufbereitung und Auswertung der Daten. Das Vorgehen und die Ergebnisse dienen dazu, die Unübersichtlichkeit der Vielzahl der in den Studien genannten Future Skills zu reduzieren und vor allem Unternehmen Orientierung zu geben.

2. Vorgehen und Sample

Die Grundlage der Metaanalyse ist eine 2023 begonnene und seitdem andauernde Recherche nach Studien zu Future Skills. Die Studien werden gesichtet und anhand definierter Einschlusskriterien bewertet. In das Studien-Sample werden nur Studien aufgenommen, die auf Grundlage eigener Analysen Aussagen zu Future Skills treffen. Zudem müssen die Studien mindestens ein Land oder eine Region des DACH-Raums (Deutschland, Österreich, Schweiz) adressieren, in deutscher oder englischer Sprache verfasst und seit 2018 veröffentlicht worden sein.

In diesem Beitrag werden Ergebnisse der aktuell 38, bis Herbst 2025 erschienenen, Studien vorgestellt und diskutiert. In etwa 19 Prozent der Studien wurde eine qualitative und in 39 Prozent eine quantitative Methode angewandt, während bei etwa 42 Prozent eine Kombination aus qualitativen und quantitativen Methoden verwendet wurde. Von den 38 Studien treffen 27 Aussagen über Future Skills in spezifischen Unternehmensbereichen und Branchen. Elf Studien treffen Aussagen über alle Branchen und Unternehmensbereiche hinweg.

Aus den ausgewählten Studien heraus werden die darin genannten Zukunftskompetenzen identifiziert und im Future Skills Radar erfasst. Es folgt eine Verdichtung der erfassten Kompetenzen auf aktuell 53 Future Skills, die im Future Skills Radar mit Future Skills-Steckbriefen erläutert sind. Die Future Skills in den vier Klassen – fachlich, methodisch, persönlich und sozial – werden dabei iterativ validiert und weiterentwickelt.

Im Future Skills Radar wird automatisiert berechnet und angezeigt, wie viele erfasste Kompetenzen aus den Studien den verschiedenen Future Skills zugeordnet wurden. In diesem Beitrag wird die Entwicklung der Future Skills über die Jahre betrachtet. Dazu wurden die Daten aus dem Future Skills Radar exportiert und mit der Statistiksoftware R in vier Zwei-Jahres-Blöcken (2018/2019, 2020/2021, 2022/2023 und 2024/2025) ausgewertet.

3. Ergebnisse der aktuellen Auswertung

In der aktuellen Auswertung des Future Skills Radars wurden in den 38 Studien 1.016 Zukunftskompetenzen identifiziert und 53 Future Skills zugeordnet, darunter 21 Future Skills in der Klasse der fachlichen Kompetenzen, 16 persönliche, neun methodische und sieben soziale Future Skills. Ein erstes Ergebnis der Auswertung zeigt, dass der Anteil der fachlichen Kompetenzen über die Jahre zunimmt. Waren es

in der Auswertung 2018/19 noch ein Drittel fachliche Kompetenzen, sind es 2024/25 zwei Drittel.

Die 53 Future Skills können im Future Skills Radar nach verschiedenen Kriterien, einschließlich der vier Kompetenzklassen, gefiltert werden. In den Abschnitten 3.1. bis 3.4 werden die fachlichen, methodischen, persönlichen und sozialen Future Skills behandelt, die im Ergebnis der Auswertung zwischen verschiedenen Zwei-Jahres-Blöcken relativ große Veränderungen aufweisen. Dabei wird stets die Rangfolge innerhalb der entsprechenden Klasse berücksichtigt.

3.1. Fachliche Kompetenzen

In der Klasse der fachlichen Kompetenzen zeigt sich eine Verschiebung von eher klassisch-funktionsbezogenen zu Kompetenzen mit Digitalisierungs- und KI-bezogenem Hintergrund (Abbildung 1).

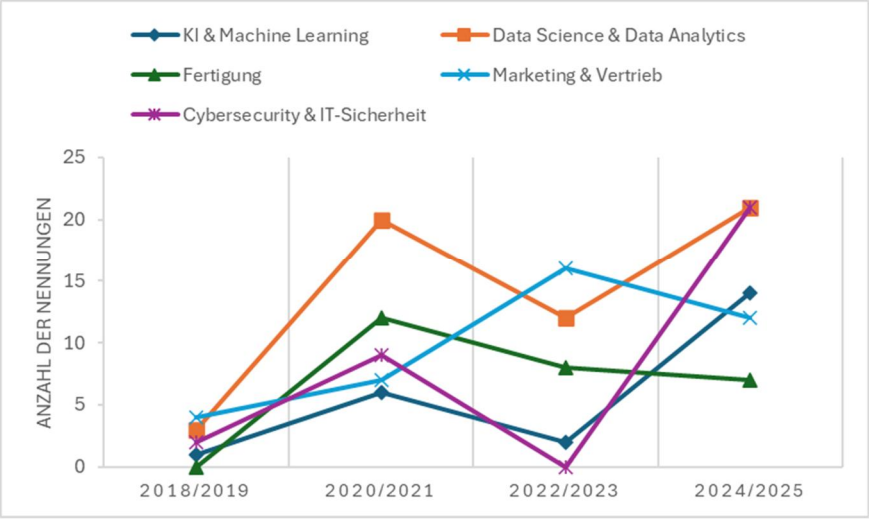


Abbildung 1: *Ausgewählte fachliche Kompetenzen im zeitlichen Verlauf.*

So zeigt das eher klassisch-funktionsbezogene Future Skill *Fertigung* einen relativen Bedeutungsverlust. War es 2020/2021 noch unter den Top Zehn, rutscht es 2024/25 auf Platz 14 ab. Ebenso büßt das zuvor stabil in den Top Zehn vertretene funktionsbezogene Future Skill *Marketing & Vertrieb* 2024/25 an Nennungen ein.

Dagegen liegt das Future Skill *Data Science & Data Analytics* schon seit 2018/19 – mit Ausnahme von 2022/23 – auf Platz 2. Die weitere Verschiebung zu digitalisierungs- und KI-bezogenen Kompetenzen zeigt sich deutlich an der Entwicklung der Nennungen des Future Skill *KI & Machine Learning*. Von 2018/19 bis 2022/23 war es noch nicht in den Top Zehn, 2024/25 steigt es direkt auf Platz 4 ein. *Cybersecurtiy & IT-Sicherheit* rückt 2024/25 auf Platz 1. Dies spiegelt die zunehmende Bedeutung von Sicherheitsaspekten in digitalisierten Umgebungen wider.

3.2. Methodische Kompetenzen

Die methodischen Kompetenzen umfassen neun Future Skills, in die 139 erfasste Kompetenzen eingeflossen sind. Übergreifend zeigt sich auch bei den methodischen Kompetenzen ein deutlicher Trend zugunsten von Future Skills mit starkem Digitalisierungsbezug, die zunehmend häufiger genannt werden. Dabei liegt *Digital Literacy* von 2018/19 bis 2022/23 auf Platz 1 und 2024/25 auf Platz 2 (Abbildung 2).

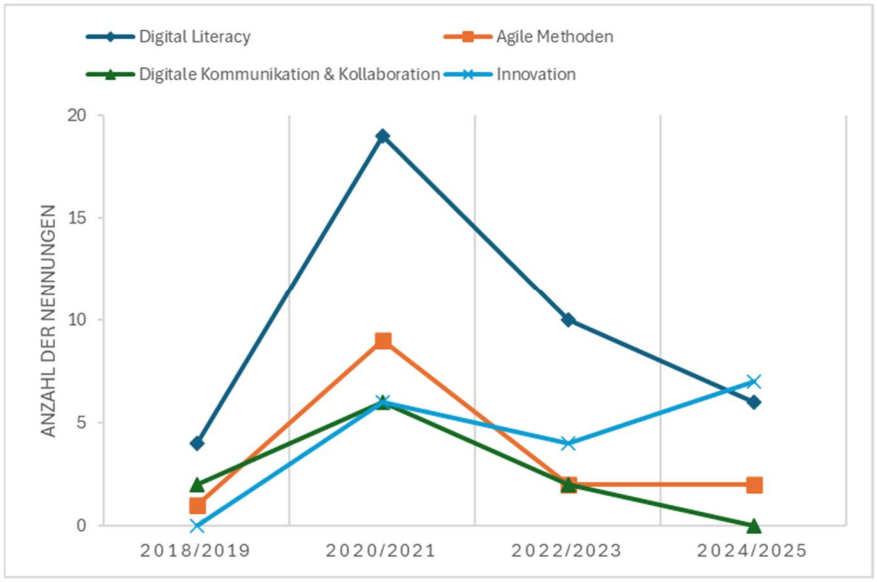


Abbildung 2: *Ausgewählte methodische Kompetenzen im zeitlichen Verlauf.*

Das Future Skill *Digitale Kommunikation & Kollaboration* steigt von 2018/19 bis 2020/21 leicht an, fällt aber ab 2022/23 zurück. *Agile Methoden* verzeichnet ebenfalls 2020/21 einen Höhepunkt, 2022/23 nehmen die Nennungen wieder ab und bleiben 2024/25 auf einem niedrigeren Niveau. Die Aufwärtsentwicklung der beiden Future Skills zwischen 2018/19 und 2020/21 könnte von einer gestiegenen Aufmerksamkeit für *Agile Methoden* sowie *Digitale Kommunikation & Kooperation* während der Corona-Pandemie herrühren. Neben dem Ende der Pandemie, könnte die anschließende Abwärtsentwicklung darauf zurückzuführen sein, dass die betreffenden Kompetenzen inzwischen eher als selbstverständlich gegeben angesehen werden. Eine auffällige Aufwärtsentwicklung zeigt das Future Skill *Innovation*. Während es 2018/19 noch einen der letzten Plätze einnimmt, liegt es 2024/25 auf Platz 1.

3.3. Persönliche Kompetenzen

In die 16 persönlichen Future Skills sind 223 in den Studien genannte Kompetenzen eingeflossen. Im Auswertungsergebnis zeigen sich insgesamt starke Verschiebungen, vor allem bei den nachfolgend genannten vier Future Skills (Abbildung 3).

Das Future Skill *Resilienz,* das 2020/21 einen starken Zuwachs an Nennungen verzeichnet, bleibt danach stabil in den Top Rängen, was darauf schließen lässt, dass ihm auch nach der Corona-Pandemie eine zentrale Bedeutung beigemessen wird. Dagegen rangiert das 2018/19 am häufigsten genannte Future Skill *Kreativität* bei den Anteilen der Nennungen 2020/21 außerhalb der Top Zehn und 2024/25 im Mittelfeld.

Weiter zeigt sich eine Verschiebung zwischen den Skills *Kritisches Denken* und *Systematisches Denken*. *Kritisches Denken* nimmt in der ersten Auswertungsperiode 2018/19 einen hohen Stellenwert ein. Seit 2020/21 bewegt sich *Systematisches Denken* in den Top Fünf bei den Nennungen und nimmt in 2024/25 Platz 1 ein.

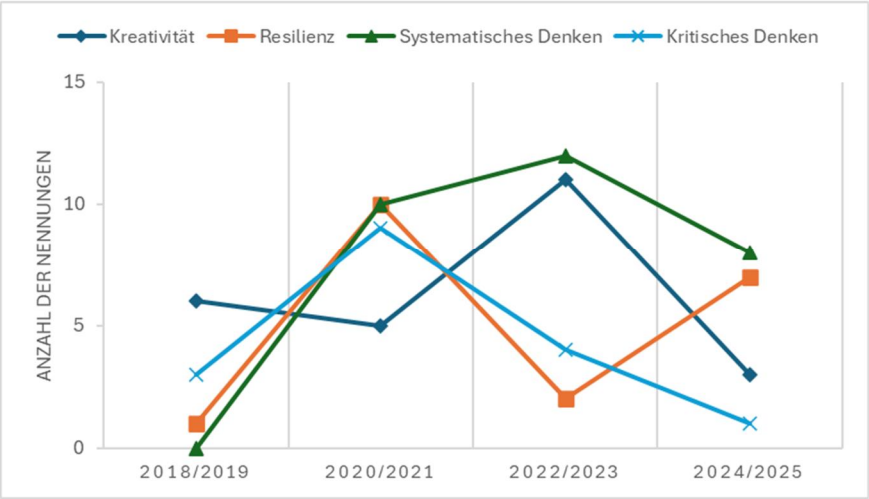


Abbildung 3: *Ausgewählte persönliche Kompetenzen im zeitlichen Verlauf.*

3.4. Soziale Kompetenzen

117 erfasste Kompetenzen, die den sozialen Kompetenzen zugeordnet sind, wurden in den Studien identifiziert und neun Future Skills zugewiesen. Bei den sozialen Kompetenzen fällt auf, dass das Future Skill *Kommunikation* ab 2020/21 einen Spitzenplatz bei den Nennungen einnimmt und diesen in den Folgejahren hält. Dies könnte darauf hindeuten, dass *Kommunikation* durch Arbeit im Homeoffice und in wechselnden Teams nochmals wichtiger wird (Abbildung 4).

Auch das Future Skill *Networking & Kundenorientierung* wird in den Studien ab 2020/21 deutlich häufiger genannt, so dass es konstant unter den Top Drei rangiert. Dies lässt darauf schließen, dass persönlichen Netzwerken und Kundenorientierung eine wieder steigende Bedeutung beigemessen wird. Das Future Skill *Führung* erreicht ab 2022/23 einen Spitzenplatz und behauptet diesen, was auf einen Bedeutungszuwachs von Führungsfähigkeiten in dezentralen Arbeitsszenarien schließen lassen könnte.

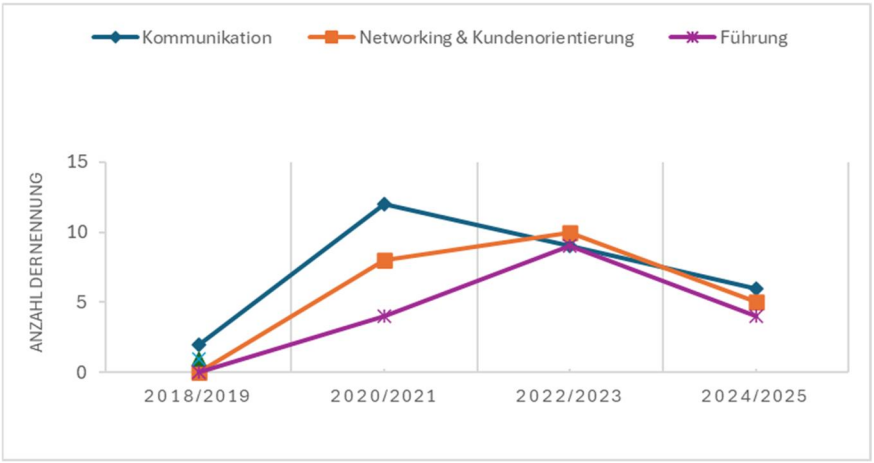


Abbildung 4: *Ausgewählte soziale Kompetenzen im zeitlichen Verlauf.*

4. Zusammenfassung mit Implikationen

Das Future Skills Radar bietet einen aktuellen Überblick über Entwicklungstrends und ermöglicht es Unternehmen und Wissenschaft, Future Skills über die Zeit hinweg zu beobachten.

Die Ergebnisse der Metaanalyse der 38 Studien zeigen eine zunehmende Nennung fachlicher Kompetenzen, vor allem mit Digitalisierungs- und KI-Bezug. Der Aufstieg von *KI & Machine Learning* in die Top Future Skills unterstreicht ihre besonders wachsende Bedeutung. Eine ähnliche Dynamik bei *Cybersecurity & IT-Sicherheit* spiegelt die zentrale Rolle von Sicherheitsaspekten in digitalen Arbeitsumgebungen wider.

Bei den sozialen Kompetenzen zeigen sich vor allem Kommunikations- sowie Führungs- und Vernetzungskompetenzen als wichtig, bei den persönlichen Kompetenzen *Systematisches Denken* und *Resilienz*. Wie bei den fachlichen, stehen bei den methodischen Kompetenzen mit *Digital Literacy* und *Digitale Kommunikation & Kooperation* ebenfalls Future Skills mit Digitalisierungsbezug im Vordergrund.

Für Bildungs- und Weiterbildungsstrategien bedeutet dies, dass sie stärker auf branchenspezifische Bedarfe und digitale Prozesse in Data-Science-, IT- und KI-Feldern ausgerichtet werden müssen. Unternehmen sollten Kompetenzaufbau frühzeitig einplanen, insbesondere in den Bereichen KI, Cybersecurity und IT-Infrastruktur, kombiniert mit methodischen und sozialen Kompetenzen.

Vor allem zur Identifikation von fachlichen Zukunftskompetenzen ist es notwendig, Studien mit Branchenbezug, vorzugsweise in Kooperation zwischen Forschung und Unternehmen durchzuführen. Hier besteht ein hoher Forschungsbedarf, da zahlreiche Branchen und Unternehmensbereiche noch nicht untersucht sind. Weiter sollten Forschungsaktivitäten im Bereich Future Skills auf Zeitreihen, etwa mit jährlichen Updates ausgerichtet werden, um Unternehmen und Wissenschaft jeweils aktuelle, im Längsschnitt vergleichbare Daten zur Verfügung stellen zu können.

5. Literatur

Dworschak B, Karapidis A, Schnalzer K, Zaiser H (2025) Future Skills 2025 – Zukunftskompetenzen für Unternehmen im Überblick. Stuttgart: Fraunhofer IAO.

Gnahs D (2010) Kompetenzen – Erwerb, Erfassung, Instrumente, 2 Aufl. Bielefeld: Bertelsmann.

Kirchherr J, Klier J, Lehmann-Brauns C, Winde M (2018) Future Skills: Welche Kompetenzen in Deutschland fehlen. Essen: Stifterverband für die deutsche Wissenschaft (Hrsg). https://www.stifterverband.org/medien/future-skills-welche-kompetenzen-in-deutschland-fehlen.

Kopf M, Leipold J, Seidl, T (2010) Kompetenzen in Lehrveranstaltungen und Prüfungen. Mainz: Zentrum für Qualitätssicherung und -entwicklung (Hrsg.).

Entwicklung des Zuschlagskriteriums „Befähigung zur Zusammenarbeit“ für die Partnerauswahl im Bauwesen

Hartmut SCHULZE[1], Magdalena MATEESCU[2], Benno SCHWEGLER[3]

[1,2] Arbeitspsychologische Beratung GmbH, Sonnmattweg 1, CH-4656 Starrkirch-Wil
[3] Kraftwerke Oberhasli AG, Grimselstrasse 19, CH-3862 Innertkirchen

Kurzfassung: Erfolgreiche Zusammenarbeit in Bauprojekten setzt die Auswahl geeigneter Projektpartner voraus. Die Befähigung zur Zusammenarbeit ist zentral, aber oft unscharf definiert und wird in Ausschreibungen eher indirekt erfasst. Das erschwert ihre systematische Bewertung als Zuschlagskriterium – besonders in öffentlichen Submissions-verfahren mit hohen Anforderungen an Transparenz und Fairness. Der Beitrag stellt eine theoriegeleitete Bewertungsmethode vor, die eine nachvollziehbare und belastbare Partnerauswahl ermöglicht, rechtliche Anforderungen erfüllt und die Umsetzung von Zusammenarbeit unterstützt. Formativ wurde die Methode in einem Projekt der Kraftwerke Oberhasli AG mit einem Rechtsexperten und zwei Bauleitenden evaluiert.

Schlüsselwörter: Partnerauswahl, Bauwesen, Zuschlagskriterien, Kollaboration, Kompetenz

1. Einführung

Die Entwicklung tragfähiger Zusammenarbeit ist in vielen Bauprojekten weiterhin anspruchsvoll. Der interorganisationale und interdisziplinäre Charakter solcher Vorhaben führt häufig zu Unterschieden im Zielverständnis, in Erwartungen an Rollen und Verantwortlichkeiten sowie in der Kultur der Zusammenarbeit. Damit rückt in der Partnerauswahl die Frage in den Vordergrund, mit welchen Methoden jene Organisationen identifiziert werden können, deren Verständnis und Arbeitspraktiken der Zusammenarbeit mit den Anforderungen der Bauherrenorganisation vereinbar sind. Ziel ist es, Partner mit einer ausgeprägten „Befähigung zur Zusammenarbeit“ auszuwählen; hierfür braucht es belastbare, nachvollziehbare und praxistaugliche Verfahren, die in dieser Form in der Praxis bislang oft fehlen.

Als Reaktion auf die in der Literatur gut belegten Beeinträchtigungen interorganisationaler Zusammenarbeit bei konventionellen Einzelvergaben (Moradi & Klakegg, 2024; Mateescu et al., 2025) gewinnen kollaborative Ansätze wie Allianz- oder IPD/IPA-Modelle an Bedeutung. Sie fördern die engere Zusammenarbeit zwischen Auftraggebenden sowie Planungs- und ausführenden Unternehmen, u. a. über gemeinsames Zielkostenmanagement und die partnerschaftliche Teilung von Risiken und Gewinnen, und unterstützen damit eine konsequente Best-for-Project-Orientierung (z. B. *SIA 2065*, 2024). Gleichzeitig erfordern sie teils erhebliche Integrationsleistungen, die häufig über Mehrparteienverträge abzusichern sind.

Zwischen konventionellen und stark partnerschaftlichen Verfahren ist der Partnering-Ansatz zu verorten (Moradi & Sormunen, 2025). Partnering kombiniert Rahmenbedingungen konventioneller Einheitsverträge mit kollaborativen Praktiken (frühzeitige

Akteurseinbindung, gemeinsame Planung, kooperative Lösungsmechanismen). In einer Befragung von Projektverantwortlichen zeigen Moradi & Sormunen (2025) dass Partnering-Projekte hinsichtlich Kosten- und Termintreue besser abschneiden als konventionelle Projekte. Als Stärken werden klare Verantwortungsverteilung, frühe Einbindung relevanter Akteure und vertraglich gestützte Kooperationsmechanismen genannt.

Kollaborativere Abwicklungsmodelle entfalten ihr Potenzial jedoch nur, wenn Organisationen und Schlüsselpersonen tatsächlich über eine ausgeprägte Befähigung zur Zusammenarbeit verfügen. Dies ist besonders für Partnering relevant: Es verlangt mehr Zusammenarbeit als konventionelle Abwicklungen, stellt aber nicht im gleichen Umfang jene strukturellen und vertraglichen Mechanismen bereit, mit denen Allianzmodelle enge Zusammenarbeit institutionalisieren.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich drei Problematiken für die Integration des Zuschlagskriteriums „Befähigung zur Zusammenarbeit“ in kollaborativere Partnerauswahlprozesse:

- **Problemstellung 1:** Definition und Dimensionen der Befähigung zur Zusammenarbeit sind in Literatur und Praxis nicht hinreichend klar beschrieben.
- **Problemstellung 2:** Es fehlen häufig konsistente Bewertungskriterien sowie eine möglichst objektive und nachvollziehbare Bewertungsmethodik.
- **Problemstellung 3:** Die rechtliche und prozessuale Machbarkeit der Umsetzung ist zu evaluieren.

Zur Bearbeitung dieser Problemstellungen stellen wir im Folgenden die Entwicklung des Zuschlagskriteriums „Befähigung zur Zusammenarbeit“ sowie die zugehörige Bewertungsmethodik vor, die im Rahmen eines Projektes der Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) erarbeitet wurde.

2. „Befähigung zur Zusammenarbeit“ als Zuschlagskriterium

Das Zuschlagskriterium „Befähigung zur Zusammenarbeit“ sowie die zugehörige Bewertungsmethodik umfassen fünf zentrale Komponenten:

1. Das Zuschlagskriterium ist theoretisch begründet und wurde in drei klar abgrenzbare Bewertungsdimensionen strukturiert.
2. Diese Bewertungsdimensionen werden für den Vergabeprozess in drei operativ definierte Bewertungskriterien (Bereitschaft zur Zusammenarbeit, kollaborative Kompetenzen der Schlüsselpersonen, organisationale Voraussetzungen) überführt, die jeweils mit Indikatoren, Datenquellen und Bewertungsankern hinterlegt sind.
3. Drei präzise formulierte (Teil-) Bewertungskriterien (Bereitschaft zur Zusammenarbeit, kollaborative Kompetenzen der Schlüsselpersonen, organisationale Voraussetzungen) ermöglichen die methodische Umsetzung des Zuschlagskriteriums.
4. Strukturierte Erhebungsinstrumente – bestehend aus strukturierten Aufgaben, leitfadengestützten Interviews und dokumentenbasierten Informationen – schaffen eine vergleichbare Ausgangsbasis.
5. Indikatorenbasierte Bewertungsskalen mit verhaltensbezogenen Bewertungsankern ermöglichen eine konsistente und nachvollziehbare Beurteilung.
6. Ein Mehrquellen- und Bewertungsschema integriert die verschiedenen Datenquellen und führt die Einzelbewertungen über eine einheitliche Skala zusammen.

Nachfolgend werden die ersten beiden Komponenten ausgeführt, da sie die konzeptionellen Grundlagen für die Bewertung des Zuschlagskriteriums „Befähigung zur Zusammenarbeit“ liefern.

2.1 Begriffsverständnis, Bewertungsdimensionen und Qualitätsanforderungen

Für die Entwicklung des Zuschlagskriteriums wurde ein Begriffsverständnis von Zusammenarbeit zugrunde gelegt, das auf aktuellen Forschungsergebnissen von Moradi et al. (2024) sowie Schulze et al. (2023) basiert. Zusammenarbeit wird dabei als graduelles und kontextabhängiges Konzept verstanden, das über reine Koordination und arbeitsteilige Kooperation hinausgeht und auch gemeinsame Gestaltung („Kokreation") einschliesst.

Aufbauend auf arbeitspsychologischen Kompetenzmodellen (vgl. Kauffeld & Albrecht, 2021) lässt sich Zusammenarbeit in drei Dimensionen differenzieren, die Zusammenarbeit in Bauprojekten mitbestimmen und im Rahmen von Partnerauswahlverfahren messbar gemacht werden können:

- **Bereitschaft zur Zusammenarbeit** – erfasst über eine schriftliche Stellungnahme zu einer vom Auftraggeber entwickelten Charta der Zusammenarbeit im Projekt, die Haltung, Werte und Motivation sichtbar macht.
- **Kollaborative Kompetenzen der Schlüsselpersonen** – erhoben durch strukturierte Interviews mit Schlüsselpersonen, differenziert nach tätigkeitsbezogenen Kompetenzen (z. B. Organisation der Zusammenarbeit auf der Baustelle, Fehlermanagement) und personenbezogenen Kompetenzen (z. B. Integrität, Initiative).
- **Organisationale Voraussetzungen für Zusammenarbeit** – geprüft über Interviews mit Führungspersonen, die Aufschluss über Managementsupport und organisationale Rahmenbedingungen geben.

Diese drei Dimensionen der Zusammenarbeit entfalten ihre Wirkung sowohl auf der individuellen Ebene (z. B. Schlüsselpersonen, Führungskräfte) als auch auf der organisationalen Ebene (Unternehmen, Arbeitsgemeinschaften). Auf der individuellen Ebene braucht es zusammenarbeitsförderliche Kompetenzen wie Empathie, aktives Zuhören und die Bereitschaft zur Verantwortungsübernahme. Auf der organisationalen Ebene müssen Unternehmen die strukturellen Voraussetzungen schaffen, um interorganisationale Zusammenarbeit zu ermöglichen. Dazu gehören u. a. ein Interesse an längerfristiger Zusammenarbeit, ausreichende personelle Ressourcen sowie sichtbare Managementunterstützung.

Die abzuleitenden Kriterien zur Bewertung des Zuschlagskriteriums „Befähigung zur Zusammenarbeit" müssen im Auswahl- und Beurteilungsprozess so ausgestaltet sein, dass sie eine strukturierte und vergleichbare Analyse von Interviews, eingereichten Dokumenten und Antworten aus Fragerunden ermöglichen. Klar formulierte Kriterien tragen zur Objektivierung bei, indem sie subjektive Eindrücke auf beobachtbare Indikatoren (z. B. konkrete Vorschläge oder Rollenklärung) zurückführen. Zugleich ist Transparenz und Nachvollziehbarkeit sicherzustellen, indem Bewertungspersonen ihre Urteile an gemeinsam geteilten Kriterien ausrichten und Entscheidungen damit begründ- und dokumentierbar werden. Schliesslich unterstützen einheitliche und transparente Kriterien die Validität und Qualitätssicherung, indem sie gewährleisten, dass relevante Aspekte der Befähigung zur Zusammenarbeit zuverlässig erfasst und beurteilt werden können.

2.2 Bewertungskriterien und einheitliche Bewertungsskala

Auf Basis der drei Bewertungsdimensionen sowie der Qualitätsaspekte der Bewertungsmethodik wurden drei Bewertungskriterien formuliert, die den Dimensionen entsprechen und diese im Partnerauswahlprozess operationalisieren:

1. **Bereitschaft zur Zusammenarbeit auf Organisationsebene:** Kooperative Einstellungen und eine Best-for-Project-Haltung sind notwendig, um Interessenkonflikte konstruktiv zu bewältigen. Dieses Kriterium wird über die Stellungnahmen der Unternehmen zur Charta und zum Organigramm bewertet.
2. **Kollaborative Kompetenzen der Schlüsselpersonen:** Individuelle soziale, personale und kommunikative Kompetenzen sind erforderlich, um Vertrauen, psychologische Sicherheit und gemeinsame Problemlösefähigkeit im firmenübergreifend zusammengesetzten Projektteam aufzubauen. Dieses Kriterium wird anhand von Interviews mit Schlüsselpersonen sowie Referenzen überprüft.
3. **Organisationale Voraussetzungen und Managementsupport:** Organisationale Rahmenbedingungen und unterstützende Führungspraktiken sind entscheidend, um Zusammenarbeit nachhaltig zu verankern. Dazu zählen u. a. lernförderliche Strukturen, eine klare Ressourcen- und Personalstrategie sowie die Unterstützung durch das Management. Dieses Kriterium wird durch Interviews mit Vertretenden des Managements der Unternehmen überprüft.

Für die Beurteilung schriftlicher Unterlagen (z. B. Stellungnahmen, Lebensläufe) sowie von Aussagen aus Interviews mit Referenzpersonen, Schlüsselpersonen oder Mitgliedern der Geschäftsleitung wurde eine einheitliche Bewertungsskala entwickelt.

Tabelle 1: *Bewertungsskala.*

Wert	Bezeichnung	Beschreibung
1	Unzureichend / Erwartungen nicht erfüllt	Die eingereichten Angebotsunterlagen und zusätzlichen Bewertungsaspekte (u. a. Interviews, Feedback Referenzpersonen) sind unzureichend und liegen sehr deutlich unter den Erwartungen.
2	Unterdurchschnittlich / Erwartungen nur teilweise erfüllt	Die eingereichten Angebotsunterlagen und zusätzlichen Bewertungsaspekte sind unterdurchschnittlich und erfüllen die Erwartungen nur in Teilaspekten und insgesamt unzureichend
3	Zufriedenstellend / Erwartungen erfüllt	Die eingereichten Angebotsunterlagen und zusätzlichen Bewertungsaspekte sind überzeugend und entsprechen den Erwartungen deutlich.
4	Überdurchschnittlich / Erwartungen übertroffen	Die Ausführungen oder das Verhalten sind überdurchschnittlich überzeugend. Die Organisation zeigt hohe Kompetenz, Eigeninitiative und klare Anschlussfähigkeit. Erwartungen werden übertroffen
5	Hervorragend / Erwartungen in besonderem Masse übertroffen	Die eingereichten Angebotsunterlagen und zusätzlichen Bewertungsaspekte sind herausragend und übertreffen die Erwartungen in besonderem Masse deutlich.

Die Bewertungsskala kombiniert jeweils ein allgemeines Qualitätsurteil (z. B. „überdurchschnittlich“) mit einem expliziten Erwartungsbezug (z. B. „Erwartungen übertroffen“). Diese doppelte Ankerung erhöht die Zuverlässigkeit der Bewertungen, da Interpretationsspielräume reduziert, ein gemeinsamer Bezugsrahmen geschaffen wird und sich für Bewertungspersonen die Nachvollziehbarkeit der Urteile verbessert.

3. Formative Evaluation der Bewertungsmethodik

Die Bewertungsmethodik zum Zuschlagskriterium „Befähigung zur Zusammenarbeit“ wurde formativ evaluiert: ein Rechtsexperte sowie zwei Bauleitende des Auftraggebers beurteilten in Testläufen Qualität, Machbarkeit und Umsetzbarkeit von Methodik und Bewertungskriterien.

3.1 Einschätzungen aus Rechtsexpertensicht

In mehreren Interviews mit einem Rechtsexperten stand die Rechtssicherheit des Vorgehens im Mittelpunkt. Er schätzte die entwickelte Bewertungsmethodik als innovativ, rechtlich robust und „*methodisch vorbildlich*“ ein und betonte, dass damit ein neuer Weg beschritten werde, um „*die Situation bei Submissionen zu verbessern*“. Besonders positiv hob er hervor, dass die Methodik eine „*sehr filigrane Wegleitung für die Ausübung des Ermessens*“ darstelle und damit eine objektivierbare Grundlage für Bewertungsentscheidungen schaffe.

Als Stärken nannte er insbesondere die Trennung von Datenerhebung und Bewertung zur Vermeidung willkürlicher Entscheidungen sowie die unmittelbare Bewertung, ergänzt durch eine inhaltsanalytische Auswertung von Transkripten der Gespräche, wodurch Verzerrungen reduziert würden. Ein solch strukturiertes Vorgehen beuge Ermessensmissbrauch vor und biete Schutz vor Willkürvorwürfen. Zudem wies er darauf hin, dass Zuschlagskriterien stets leistungsbezogen zu formulieren seien; ausserdem sollten projektbezogene Fragen gestellt und Bauherrenvertretende in die Interviewführung einbezogen werden, um Relevanz und Gesprächscharakter sicherzustellen.

Zusammenfassend bietet die Methodik nach seiner Einschätzung einen hohen Schutz vor Willkür und Ermessensmissbrauch und eine belastbare Grundlage für faire und transparente Partnerauswahlverfahren.

3.2 Einschätzungen aus Sicht von Bauleitenden der KWO

Zwei Bauleitende nahmen im Rahmen einer formativen Evaluation an je einstündigen Interviews teil, um den Interviewleitfaden für die Bewertung der Zusammenarbeit von Schlüsselpersonen zu erproben. Sie bewerteten den Ansatz und den Leitfaden positiv und fanden ihn geeignet, zentrale Aspekte der Zusammenarbeit und relevante Praxisdimensionen abzubilden. Besonders hervorgehoben wurde, dass die Fragen an die Schlüsselpersonen zu einer reflektierten Auseinandersetzung mit ihrer Rolle und Haltung im Projekt anregen, wie das Zitat aus Interview 1 zeigt: „*Es sollen Fragen sein, die Baustellenchefs ins Grübeln bringen und ihre Bereitschaft zur Transparenz und gemeinsamen Verantwortung im Projekt hervorheben*.“

Die Experten betonten zudem, dass der Leitfaden die Fähigkeit der Schlüsselpersonen zur Zusammenarbeit, insbesondere die Bereitschaft zur Transparenz und zum Teilen von Ideen mit dem Bauherrn, angemessen abbildet. Ein weiteres Zitat aus Interview 2 unterstreicht diesen Aspekt: „*Ich wünschte mir, dass das Unternehmen bereit ist, transparent zu sein und Optimierungsvorschläge auch dem Bauherrn zu teilen*.“

Die Bauleitenden gaben auch Hinweise, bestimmte Fragen stärker auf das auszuschreibende Projekt und konkrete Projektsituationen zu beziehen. Insgesamt bestätigten sie, dass die entwickelte Methodik relevante Kompetenzen adressiert und die Eignung von Schlüsselpersonen differenziert und praxisnah erfassen kann.

4. Diskussion

Das entwickelte Bewertungsinstrument ermöglicht erstmals eine theoriegeleitete und empirisch gestützte Operationalisierung der „Befähigung zur Zusammenarbeit“ als Zuschlagskriterium. Die bisherige formative Evaluation bestätigt die methodische Konsistenz, die rechtliche Robustheit und die praktische Umsetzbarkeit der Methodik. Insbesondere zeigt sich, dass Unterschiede (a) in der Bereitschaft zur Zusammenarbeit auf Organisationsebene, (b) in den kollaborativen Kompetenzen auf Ebene der Schlüsselpersonen und (c) im organisationalen Support durch die Managementebene der Unternehmung valide und differenziert erfasst werden können. Als nächster Schritt ist eine weitere Evaluationsrunde zur Einschätzung des Interviewleitfadens mit pensionierten Mitarbeitern von Unternehmungen stellvertretend für die Management von Anbieterorganisationen vorgesehen; auch diese Evaluation wird durch Projektleitende der KWO vorgenommen. Auf den Einbezug von Managementvertretenden oder Projektleitenden potenzieller Anbieterfirmen wurde bewusst verzichtet, um mögliche Verzerrungen im Auswahlverfahren zu vermeiden.

Eine abschliessende Validierung der Bewertungsmethodik im Sinne einer Anwendung unter Realbedingungen wird mit der Durchführung eines konkreten Partnerauswahlverfahrens möglich.

5. Literatur

Kauffeld, S., & Albrecht, A. (2021). „Kompetenzen und ihre Entwicklung in der Arbeitswelt von Morgen: Branchenunabhängig, individualisiert, verbunden, digitalisiert?“ Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO), 52(1), 1–6.

Mateescu, M., Urech, A., Huber, M., & Schulze, H. (2025). Erfolgsfaktoren für gelingende Zusammenarbeit in Bauprojekten. Kongressbeiträge der 71. Frühjahrskonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 6.

Moradi, S., Kahkonen, K., Koskela, L., Klakegg, O. J., & Aaltonen, K. (2024). Routledge Handbook of Collaboration in Construction (1. Aufl.). Routledge.

Moradi, S., & Klakegg, O. J. (2024). Conceptualization of collaboration, cooperation, and coordination in construction projects. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,

Moradi, S., & Sormunen, P. (2025). A Comparative Study on the Performance of Traditional and Collaborative Construction Projects. CIB Conferences, 1.

Planen und Bauen in Projektallianzen. SIA 2065 (Merkblatt No. SNR 592065:2024; Version 1). (2024). SIA Zurich. www.sia.ch/korrigenda

Schulze, H., Mateescu, M., Urech, A., & Huber, M. (2023). Modi der Zusammenarbeit im Bauwesen – ein theoriebasiertes Integrationsmodell für Planungs- und Bauprojekte. Phase0 - Journal für integriertes Planen, Bauen und Betreiben.

Danksagung: Ein besonderer Dank gilt den an der Entwicklung des Partnerauswahlprozesses beteiligten Expert:innen des Instituts Digitales Bauen der Fachhochschule Nordwestschweiz sowie den beteiligten Bau- und Projektleitenden der Kraftwerke Oberhasli AG.

Zukünftige Jobfamilien im Ökosystem Business Events – Kompetenzprofile im Spannungsfeld von demografischem Wandel, KI und Automatisierung

Tilman NAUJOKS, Mara ZACCARIA, Wolfgang BEINHAUER, Stefan RIEF

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart

Kurzfassung: Der Demografische Wandel und die fortschreitende Automatisierung prägen die Arbeitswelt in hohem Maße – auch im Business-Event-Ökosystem. Während der Personal- und Fachkräftemangel in vielen Bereichen zunehmend zum Engpassfaktor wird, eröffnen technologische Entwicklungen wie Künstliche Intelligenz (KI) und Robotik neue Möglichkeiten der Prozessunterstützung und Automatisierung. Ziel der hier aufgegriffenen Forschung im Rahmen des Innovationsverbunds Future Meeting Space des Fraunhofer IAO ist es, die Schnittstellen dieser beiden Megatrends systematisch zu analysieren und daraus Handlungsempfehlungen für eine menschengerechte, zukunfts-orientierte Arbeitsgestaltung im Veranstaltungskontext abzuleiten.

Schlüsselwörter: Future Meetings, Business Events, Jobfamilien, Fachkräftebedarf, Automatisierungspotenziale, Kompetenzwandel

1. Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Arbeitswelt im Ökosystem Business Events ist aktuell stark durch das Zusammenwirken zweier zentraler Megatrends geprägt: den demografischen Wandel und die fortschreitende Automatisierung durch Künstliche Intelligenz (KI). Der demografische Wandel führt in Deutschland zu einer alternden Erwerbsbevölkerung sowie zu einem Rückgang des verfügbaren Arbeitskräftepotenzials (Statistisches Bundesamt 2025). Prognosen zufolge wird sich insbesondere der Bedarf an verfügbaren Fachkräften in den kommenden Jahren weiter verschärfen (IW Köln 2021). Der anhaltende Personalmangel stellt eine langfristige und tiefgreifende Herausforderung für die Veranstaltungswirtschaft dar (BMWK 2021). Die Corona-Pandemie hat diese Entwicklung zusätzlich verstärkt, da zahlreiche Beschäftigte die Branche verlassen haben und nicht zurückgekehrt sind (Ifo Institut 2023). Vor diesem Hintergrund geraten die Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit des gesamten Veranstaltungsökosystems zunehmend unter Druck.

Parallel dazu eröffnet der technologische Fortschritt durch Automatisierung und KI neue Möglichkeiten zur Unterstützung, Substitution und Ergänzung menschlicher Arbeit. Prognosen des World Economic Forums (2025) zufolge sinkt der Anteil menschlich ausgeführter Arbeitsaufgaben deutlich, während automatisierte und kooperative Tätigkeiten zwischen Mensch und Technologie an Bedeutung gewinnen. Auch im Kontext von Business Events bieten KI-basierte Systeme, etwa KI-Agenten und humanoide Robotik, erhebliche Potenziale zur Unterstützung, Effizienzsteigerung und zur Entlastung von Personal. Gleichzeitig geht dieser technologische Wandel mit einem tiefgreifenden Kompetenzwandel einher, der gezielte Qualifizierungs- und Weiterbildungsmaßnahmen erforderlich macht (Chui et al. 2024).

Ziel der Untersuchung ist es, das Zusammenwirken von demografischem Wandel und fortschreitender Automatisierung im Business-Event-Ökosystem zu analysieren und daraus praxisorientierte Handlungsempfehlungen für eine menschengerechte, zukunftsorientierte Arbeits- und Qualifikationsgestaltung unter Nutzung von KI und Robotik abzuleiten.

2. Identifikation von Jobfamilien und Einschätzung des aktuellen Personalbedarfs im Business-Event-Ökosystem

Im Zentrum der Untersuchung steht die explorative Identifikation und empirische Analyse von Jobfamilien im Business-Events-Ökosystem. Auf Basis von Fokusgruppen mit Branchenexpertinnen und -experten wurden insgesamt 40 Jobfamilien identifiziert. Jobfamilien bezeichnen Gruppen von Tätigkeitsprofilen mit ähnlichen Aufgaben- und Kompetenzanforderungen und dienen der systematischen Strukturierung von Arbeit sowie der Analyse von Veränderungen in Qualifikations- und Personalbedarfen. 16 dieser Jobfamilien wurden anschließend im Rahmen einer quantitativen Erhebung hinsichtlich ihres aktuellen und zukünftigen Personalbedarfs bewertet. An der Befragung nahmen insgesamt 166 Personen teil, die sich gezielt an Veranstaltende, Planende, Anbietende sowie Destinationen als Professionals im Business-Event-Ökosystem richtete. Der folgende Abschnitt fokussiert die Ergebnisse zum aktuellen Personalbedarf, der auf einer fünfstufigen Skala von 1 („sehr geringer Bedarf“) bis 5 („sehr hoher Bedarf“) erhoben wurde.

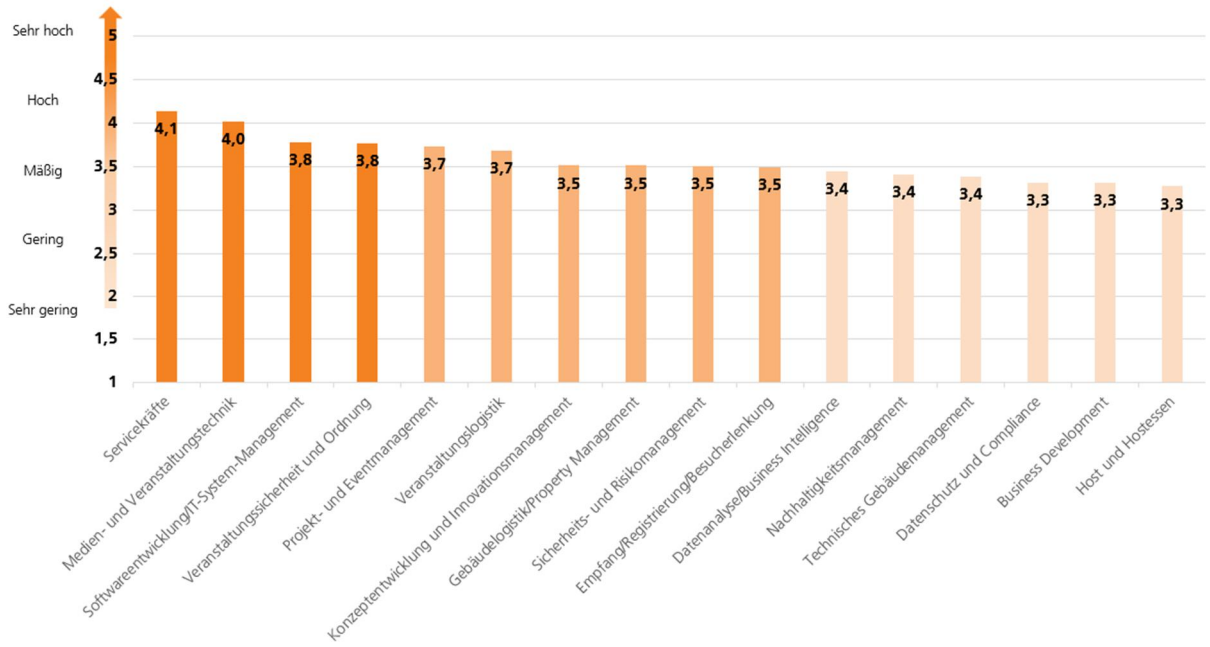


***Abbildung 1**: Bewertung des aktuellen Personalbedarfs nach Jobfamilien (N = 166).*

Abbildung 1 zeigt die Einschätzung des aktuellen Personalbedarfs in den untersuchten Jobfamilien. Über alle betrachteten Jobfamilien hinweg zeichnet sich ein insgesamt deutlich hoher Personalbedarf ab und verweist damit auf einen umfassenden Bedarf an qualifizierten Fachkräften im Business-Events-Ökosystem, zugelich lassen sich jedoch Unterschiede zwischen den einzelnen Jobfamilien erkennen. Besonders ausgeprägt ist der Personalbedarf in den Jobfamilien

Servicekräfte sowie Medien- und Veranstaltungstechnik. Servicekräfte sichern den gastronomischen Ablauf von Business Events und tragen durch Tätigkeiten im Service, in der Gästekommunikation sowie in der Einhaltung von Qualitäts- und Hygienestandards maßgeblich zur Servicequalität und zur Zufriedenheit der Teilnehmenden bei. Die Jobfamilie Medien- und Veranstaltungstechnik umfasst die Planung, den Aufbau und die Steuerung der technischen Infrastruktur von Veranstaltungen, insbesondere im Bereich Licht-, Ton- und Medientechnik, und ist damit zentral für einen reibungslosen technischen Ablauf von Events.

Demgegenüber wird der aktuelle Personalbedarf unter anderem in der Jobfamilie Host und Hostessen vergleichsweise am geringsten eingeschätzt. Hosts und Hostessen übernehmen vor allem servicebegleitende Aufgaben in der persönlichen Betreuung sowie in der Information von Teilnehmenden während Veranstaltungen.

3. Anwendungsmöglichkeiten zur Prozessunterstützung und Automatisierung durch KI und Robotik

Um dem bestehenden Personalbedarf im Business-Event-Ökosystem entgegenzuwirken, wurden konkrete Anwendungsmöglichkeiten zur Prozessautomatisierung mithilfe von KI und Robotik entwickelt und im Hinblick auf ihre Realisierbarkeit sowie ihren potenziellen Nutzen bewertet. Aus den insgesamt über 40 identifizierten Einsatzmöglichkeiten werden im Folgenden drei exemplarisch vorgestellt.

3.1 Upskilling-Co-Piloten

Upskilling-Co-Piloten sind KI-gestützte Assistenzsysteme, die Mitarbeitende im Veranstaltungsbetrieb in Echtzeit bei der Ausführung ihrer Aufgaben unterstützen, etwa über mobile Endgeräte oder Augmented-Reality-Anwendungen. Durch kontextsensitive Anleitungen, unmittelbares Feedback und personalisierte Lerninhalte ermöglichen sie eine bedarfsgerechte Kompetenzentwicklung direkt im Arbeitsprozess. Dadurch können Einarbeitungszeiten verkürzt, Fehlerraten reduziert und Qualifikationslücken kontinuierlich geschlossen werden, was potenziell zu einer höheren Effizienz und Professionalisierung im Eventmanagement beiträgt. In der Gesamtbewertung erzielen Upskilling-Co-Piloten die höchsten Werte in Bezug auf Realisierbarkeit und Nutzen. Dies lässt sich insbesondere durch den Einsatz bereits verfügbarer Technologien sowie die vergleichsweise einfache Integration in bestehende Eventprozesse erklären. Darüber hinaus bieten Upskilling-Co-Piloten einen unmittelbaren Nutzen im Arbeitsalltag und ergänzen bestehende Strukturen, ohne grundlegende organisatorische Veränderungen zu erfordern.

3.2 Autonome Event-Ökosysteme

Autonome Event-Ökosysteme beschreiben KI-basierte Plattformen, die zentrale Phasen der Veranstaltungsplanung, -vermarktung und -durchführung integriert und weitgehend automatisiert abbilden. Mithilfe agentischer KI können Zielgruppen identifiziert, Veranstaltungsformate vorgeschlagen und operative Prozesse wie Kommunikation, Ressourcen- und Ablaufplanung koordiniert werden. Diese End-to-End-Automatisierung kann organisatorischen Aufwand deutlich reduzieren, Prozesse datenbasiert optimieren und langfristig neue Formen effizienter, vernetzter

Wertschöpfung im Eventmanagement ermöglichen. Die Bewertung der autonomer Event-Ökosysteme durch die Autorinnen und Autoren liegt insgesamt im mittleren bis hohen Bereich in Bezug auf Realisierbarkeit und Nutzen. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass ihre Umsetzung eine umfassende Abstimmung sowie die Integration über mehrere Prozesse und beteiligte Akteursgruppen hinweg erfordert.

3.3 Humanoide Roboter

Humanoide Roboter fungieren als KI-gestützte Service- und Assistenzsysteme in Veranstaltungsumgebungen und übernehmen vielfältige unterstützende Aufgaben im operativen Ablauf. Sie bewegen sich autonom, interagieren situationsabhängig mit Menschen und reagieren flexibel auf Anforderungen vor Ort. So können sie Personal und Besuchende unterstützen, etwa durch das Bereitstellen von Mikrofonen, das Verteilen von Getränken oder Informationsmaterialien sowie durch gezielte Auskünfte und Orientierungshilfen. Durch diese Funktionen können humanoide Roboter Veranstaltungen serviceorientiert begleiten. Im Vergleich zu anderen Anwendungsmöglichkeiten wird die Realisierbarkeit solcher humanoiden Roboter jedoch aktuell durch die Autorinnen und Autoren noch zurückhaltend bewertet. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass ihr Einsatz derzeit mit erheblichem technischem, organisatorischem und finanziellem Aufwand verbunden ist und ihr konkreter Nutzen im Veranstaltungskontext bislang nur eingeschränkt abschätzbar erscheint.

4. Zukünftiger Personalbedarf und Kompetenzverschiebungen durch KI und Robotik

In der beschriebenen quantitativen Erhebung wurde neben dem aktuellen auch der zukünftige Personalbedarf in den identifizierten Jobfamilien erhoben. Die daraus resultierenden Einschätzungen wurden im Anschluss mittels einer KI-basierten Analyse unter Einsatz eines Large Language Models mit den identifizierten Anwendungsmöglichkeiten zur Prozessautomatisierung abgeglichen, um potenzielle Kompetenzverschiebungen sowie mögliche Kompensations- und Entlastungseffekte zwischen menschlicher und technologischer Arbeit zu analysieren. Die dargestellten Veränderungen des zukünftigen Personalbedarfs, wie in Abbildung 2 dargestellt, beziehen sich auf Abweichungen vom aktuellen Bedarf (Nullwert) und wurden auf einer Skala von −2 („stark abfallender Bedarf“) bis +2 („stark ansteigender Bedarf“) bewertet.

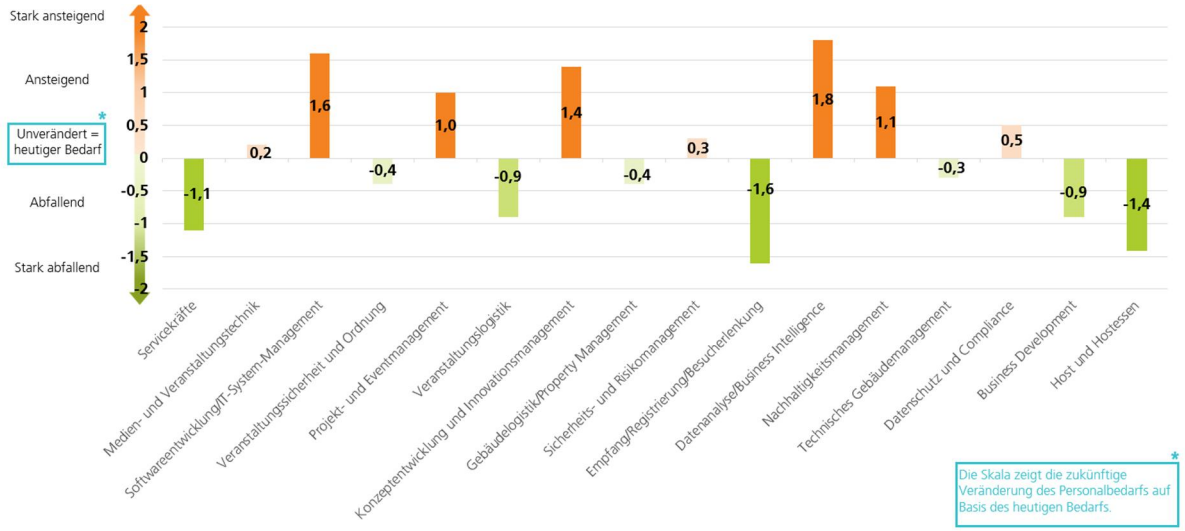


***Abbildung 2**: Bewertung des zukünftigen Personalbedarfs und ergänzender KI-gestützter Abgleich mithilfe eines Large Language Models (N = 166).*

Die Bewertung des zukünftigen Personalbedarfs zeigt, dass für einzelne Jobfamilien durch Prozessautomatisierungen durch KI und Robotik perspektivisch ein rückläufiger Personalbedarf erwartet wird.

Besonders hohe Kompensationspotenziale zeigen sich in Jobfamilien wie den Servicekräften. Aus Sicht der Autorinnen und Autoren könnten insbesondere standardisierte Tätigkeiten wie Servieren, Abräumen, Reinigen sowie das Vorbereiten und Auffüllen von Materialien künftig teilweise automatisiert werden. Humanoide Roboter könnten hierbei unterstützend eingesetzt werden, indem sie Routinetätigkeiten übernehmen und einfache Aufgaben im Gästekontakt erfüllen. Damit könnten sich die Kompetenzanforderungen verschieben: Zunehmend relevant wären Fähigkeiten zur Bedienung und Überwachung robotischer Systeme, zur Interaktion in Mensch-Roboter-Situationen sowie zur Kontrolle digital unterstützter Service- und Cateringprozesse.

Auch in der Jobfamilie Veranstaltungssicherheit und Ordnung, die unter anderem Zutrittskontrollen, Steuerung von Besucherströmen, Deeskalation und die Durchsetzung des Hausrechts umfasst, bestehen Automatisierungspotenziale. Insbesondere standardisierte Aufgaben wie Einlass- und Zugangskontrollen könnten künftig teilweise durch Self-Check-in-Prozesse ersetzt werden. Tätigkeiten wie Taschenkontrollen bleiben zwar bestehen, werden jedoch durch KI-basierte Assistenzsysteme, etwa Upskilling-Co-Piloten unterstützt, indem potenziell gefährliche Gegenstände markiert und Entscheidungsfindung, Aufmerksamkeit sowie Situationsbewusstsein gestärkt werden. In der Folge gewinnen insbesondere Fähigkeiten im Umgang mit solchen Assistenzsystemen sowie in der Interpretation technischer Hinweise an Bedeutung.

Für die Jobfamilie Medien- und Veranstaltungstechnik bestehen nur begrenzte Kompensationsmöglichkeiten. Automatisierungspotenziale werden aus Sicht der Autorinnen und Autoren vor allem bei standardisierten Routinetätigkeiten wie der technischen Vorbereitung, grundlegenden Funktionsprüfungen und der Dokumentation gesehen. Zentrale Aufgaben wie Aufbau, Feinabstimmung und Live-Steuerung bleiben überwiegend menschliche Tätigkeiten und können durch KI lediglich unterstützend begleitet werden. Daraus lässt sich ableiten, dass sich der Tätigkeitsfokus stärker in Richtung Überwachung und gezielte Steuerung technisch

unterstützter Systeme verschieben könnte.

Für die technologisch geprägten Jobfamilien Softwareentwicklung und IT-System-Management wird zukünftig ein steigender Personalbedarf erwartet. Trotz möglicher Effizienzgewinne durch den Einsatz von KI bleibt der Bedarf an entsprechenden Kompetenzen hoch, da Entwicklungs-, Integrations- und Betriebsanforderungen digitaler Systeme weiter zunehmen und die Autorinnen und Autoren gerade im Business-Event-Ökosystem einen hohen aufholbedarf sehen.

5. Resümee

Die Ergebnisse zeigen, dass das Business-Event-Ökosystem über ein breites Spektrum an Jobfamilien mit unterschiedlichen Qualifikationsanforderungen verfügt, deren Kompetenzprofile sich im Zuge der technologischen Transformation perspektivisch verändern könnten. Zugleich entstehen neue hybride Rollen an der Schnittstelle zwischen Mensch, Technologie und Teilnehmenden von Veranstaltungen. Auf Basis dieser Befunde lassen sich Hinweise darauf ableiten, welche strategischen Qualifizierungs- und Entwicklungsmaßnahmen künftig erforderlich sind, um den zukünftigen Personalbedarf zu sichern und die Chancen von KI und Automatisierung menschengerecht zu gestalten. Insbesondere der Aufbau von KI- und Datenkompetenzen gewinnt dabei als grundlegende Qualifikation für nahezu alle Jobfamilien an Bedeutung. So könnten kontinuierliche Weiterbildung sowie die gezielte Weiterentwicklung von Rollenprofilen zentrale Erfolgsfaktoren im Umgang mit Fachkräftemangel und technologischem Wandel darstellen.

Insgesamt leistet diese Forschung einen Beitrag zum Verständnis zukünftiger Kompetenzanforderungen in einer Branche, die exemplarisch für den Wandel wissensintensiver und interaktiver Arbeitswelten steht.

6. Literatur

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (2021) Monitoringbericht Kultur- und Kreativwirtschaft 2021. Berlin.

Chui, M, Durth S, Hazan E, Huyghues-Despointes R, Madgavkar A, Maor D, Dandona G S, Smit S (2024) Eine neue Zukunft der Arbeit. McKinsey Global Institute.

Geis-Thöne W (2021) Mögliche Entwicklungen des Fachkräfteangebots bis zum Jahr 2040. Institut der deutschen Wirtschaft, Köln.

Ifo Institut (2023) Corona hemmte zunächst die Arbeitsplatzwechsel. Abgerufen am 13. Januar, 2026. https://www.ifo.de/pressemitteilung/2023-02-20/corona-hemmte-zunaechst-die-arbeitsplatzwechsel

Statistisches Bundesamt Destatis (2025) Bevölkerung in Deutschland. Abgerufen am 13. Januar, 2026. https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Demografischer-Wandel/_inhalt.html?templateQueryString=bev%C3%B6lkerung+in+deutschland+#_l7pdbl87r

World Economic Forum (2025) Future of Jobs Report. Cologny/Geneva Switzerland.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Herausforderungen standort- und grenzüberschreitender Zusammenarbeit in der europäischen Produktion

Tim JESKE, Nicole OTTERSBÖCK

ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft
Uerdinger Straße 56, D-40474 Düsseldorf

Kurzfassung: Die standort- und grenzüberschreitende Zusammenarbeit entlang industrieller Wertschöpfungsketten ist von zentraler Bedeutung für deren Erfolg. Im Forschungsprojekt ProTeam wird ein Werkzeug zur Gestaltung dieser Zusammenarbeit entwickelt, das digitale Technologien mit arbeitswissenschaftlichen Prinzipien verbindet und neue Perspektiven für die industrielle Zusammenarbeit in Europa eröffnet. Im vorliegenden Beitrag werden bestehende Herausforderungen ermittelt und Anforderungen an ein solches Werkzeug abgeleitet sowie teilweise erste Lösungsansätze skizziert. Das Vorgehen – von der Modellierung aktueller Prozesse bis zur Einbindung eines international besetzen Beirats – und die Ergebnisse werden detailliert beschrieben. Zudem wird ein Ausblick auf die nächsten Entwicklungsschritte für das Werkzeug und den weiteren Projektverlauf gegeben.

Schlüsselwörter: Zusammenarbeit, Produktion, Wertschöpfungskette, Arbeitsplanung, Prozessgestaltung, Digitalisierung

1. Einleitung und Bedarf

In einer globalisierten und zunehmend digitalisierten Arbeitswelt wird die Gestaltung der standort- und grenzüberschreitenden Zusammenarbeit entlang industrieller Prozess- bzw. Wertschöpfungsketten zu einem immer wichtigeren Erfolgsfaktor produzierender Unternehmen. Sie ist u. a. maßgeblich für den Zeitbedarf von Planungs- und Abstimmungsprozessen und entscheidend dafür, ob und in welchem Umfang zeit- und kostenintensive Reisetätigkeiten erforderlich sind bzw. werden. Dies betrifft sowohl die Planung und den Hochlauf von Wertschöpfungs- bzw. Prozessketten für neue Produkte als auch die kontinuierliche Weiterentwicklung und Verbesserung der Prozessketten bestehender Produkte. In diesem Zusammenhang ist auch ein zunehmender Abstimmungsbedarf zu berücksichtigen, der sich aus den steigenden Anforderungen gesetzlicher Rahmenbedingungen wie dem Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG) ergibt. Dieses verpflichtet Unternehmen, Menschenrechts- und Umweltstandards entlang ihrer gesamten Lieferkette zu beachten und nachzuweisen.

Vor diesem Hintergrund entwickelt das Forschungsprojekt ProTeam ein technologiegestütztes Werkzeug, das die Planung und Gestaltung produktiver und gesunder Arbeit in internationalen Netzwerken unterstützt. Im Fokus stehen industrielle Wertschöpfungsketten innerhalb der Europäischen Union, bei denen Planung und Entwicklung häufig in Deutschland erfolgen, während die Produktion in anderen Ländern stattfindet. Diese Konstellation stellt hohe Anforderungen an die standort- und grenzüberschreitende Zusammenarbeit: Neben einer zuverlässigen Weitergabe von Informationen sind sowohl der strukturierte Austausch darüber als auch deren koordinierte gemeinsame Bearbeitung bzw. Weiterentwicklung geeignet zu gestalten. Dabei sind in

den Unternehmen bereits etablierte Prozesse, die verschiedenen dazugehörigen Softwarewerkzeuge und ihre Datenaustauschformate sowie sprachliche und kulturelle Unterschiede angemessen zu berücksichtigen.

Um die Herausforderungen der Zusammenarbeit über Standort- und Landesgrenzen hinweg effizient zu lösen, soll ein digitales Werkzeug entwickelt werden. Es soll digitale Technologien mit arbeitswissenschaftlichen Prinzipien verbinden und einen Beitrag dazu leisten, die industrielle Zusammenarbeit in Europa zu verbessern und effizienter zu gestalten. Zu diesem Zweck sind zunächst bestehende Herausforderungen der standort- und grenzüberschreitenden Zusammenarbeit der betrieblichen Anwendungspartner im Projekt systematisch zu ermitteln. Gemeinsam sind daraus konkrete Anforderungen an ein solches Werkzeug abzuleiten. Die Ergebnisse sind hinsichtlich ihrer Generalisierbarkeit mit einem international besetzten Beirat abzusichern, um eine breite Übertragbarkeit und Anwendbarkeit der Ergebnisse in europäischen Unternehmen zu erreichen.

2. Vorgehen zur Ermittlung von Herausforderungen und Ableitung von Anforderungen

Zur Ermittlung der bestehenden Herausforderungen in der Zusammenarbeit entlang industrieller Wertschöpfungsketten in Europa wurden zunächst die derzeitigen Prozesse zur standort- und grenzüberschreitenden Planung und Gestaltung von Arbeit in zwei am Projekt beteiligten Anwendungsunternehmen erfasst, modelliert und analysiert. Aus den dabei identifizierten Herausforderungen wurden Anforderungen an ein Werkzeug zur Gestaltung produktiver und gesunder Arbeitsprozesse abgeleitet. Anschließend wurden die Ergebnisse aus beiden Anwendungsunternehmen in einem gemeinsamen Workshop zusammengeführt. Schließlich wurden die konsolidierten Anforderungen mit einem international besetzten Projektbeirat abgesichert, der aus Vertretern weiterer Unternehmen sowie Vertretern von Arbeitgeberverbänden besteht.

2.1 Prozesserhebung

Die bestehenden Prozesse zur standort- und grenzüberschreitenden Planung und Gestaltung von Arbeit in den beiden am Projekt beteiligten Anwendungsunternehmen wurden jeweils in einem Workshop ermittelt und modelliert. Ausgehend von der Produktentwicklung und ihrer Verzahnung mit der Prozessentwicklung betrachteten die an den Prozessen beteiligten Personen die Planung der zur Montage erforderlichen Einzelverrichtungen mit ihrer jeweiligen Dokumentation. Anschließend wurde die darauf aufbauende Planung des Montageprozesses analysiert und die Zuordnung der Einzelverrichtungen zu Arbeitsstationen inklusive der Ausgestaltung der einzelnen Stationen betrachtet. Schließlich wurde dokumentiert, wie über einen Produktionsstart hinaus Verbesserungen identifiziert und inklusive Dokumentation umgesetzt werden.

Die Prozessabläufe wurden mittels der Prozessmodellierungssprache K3 modelliert. Diese ist geeignet, bei Bedarf auch schwach strukturierte Prozesse darzustellen und bietet gleichzeitig die Möglichkeit, neben Aktivitätsflüssen auch Informationsflüsse und verwendete (Software-)Werkzeuge zu darzustellen (Killich et al. 1999, Przybysz & Duckwitz 2014). Die Modellierung erfolgte in mehreren Schritten:

1. Detaillierte Darstellung des Ablaufs der Planungstätigkeiten
    - Darstellung der aktuellen Abläufe (ggf. mit Alternativen)
    - Kennzeichnung potenzieller Schwachstellen/Herausforderungen
    - Kennzeichnung von besonders erfolgskritischen Aktivitäten
2. Ergänzende Berücksichtigung des Themenfelds Wissensmanagement
    - Kennzeichnung von Teiltätigkeiten, die besonderes Erfahrungswissen erfordern
    - Kennzeichnung, welche dieser Teiltätigkeiten zudem besonders erfolgskritisch sind

Zur Modellierung wurden Softwaretools verwendet, die eine kollaborative und simultane Bearbeitung durch mehrere Personen ermöglichen. Auf diese Weise konnten sich alle an der Modellierung beteiligten Personen über Wortbeiträge hinaus jederzeit aktiv einbringen und bspw. Formulierungen selbst anpassen.

2.2 Konsolidierung der Ergebnisse und Ableitung von Anforderungen

Die modellierten Prozesse wurden in einem gemeinsamen Workshop mit den bereits zuvor beteiligten Personen beider Unternehmen betrachtet und analysiert. Dabei wurden zunächst mehrere Phasen herausgearbeitet, in die sich die beiden Prozessmodelle strukturieren lassen und die sich an bestehende Produktentstehungsprozesse anlehnen (bspw. Dombrowski & Karl 2022). Anschließend wurden für die Herausforderungen jeder Phase Anforderungen an ein Unterstützungswerkzeug abgeleitet. Neben den phasenspezifischen Anforderungen wurden phasenübergreifende identifiziert und dokumentiert. Darüber hinaus konnten zum Teil bereits erste Lösungsansätze ermittelt werden.

2.3 Absicherung der ermittelten Anforderungen

Die aus der gemeinsamen Betrachtung der Prozessmodelle entstandenen konsolidierten Anforderungen wurden einem international besetzten Beirat der Value-Partner (Unternehmen und Arbeitgeberverbände) des Projekts vorgestellt und in dieser Runde ausführlich diskutiert. Ziel dabei war es, sicherzustellen, dass einerseits alle wesentlichen Anforderungen erhoben wurden und andererseits diese so generalisierbar sind, dass das entstehende Werkzeug auch für andere produzierende Unternehmen außerhalb des Projektkontextes nutzbar ist. Dies stellt die Übertragbarkeit bzw. Anschlussfähigkeit der im Projekt entstehenden Lösung sicher.

3. Ergebnisse und Lösungsansätze

Die Erstellung der Prozessmodelle hat in beiden Unternehmen dazu beigetragen, das gemeinsame Verständnis der modellierten Prozesse zu verbessern. Eventuelle Abweichungen bzw. Arbeitsweisenstreuungen wurden erkannt, mit ihren jeweiligen Ursachen diskutiert und ggf. entsprechend modelliert. Durch diese Wissensverteilung entstand ein Beitrag zum Themenfeld Wissensmanagement; dringende Handlungsbedarfe wurden in diesem Themenfeld nicht festgestellt.

Die Strukturierung der Prozessmodelle in Anlehnung an bestehende Produktentstehungsprozesse (bspw. Dombrowski & Karl 2022) führte zur Verwendung der folgenden vier Phasen:

- Vorentwicklungsphase
- Produktentwicklungsphase
- Prozessentwicklungsphase
- Vorserien- und Betriebsphase

Die integrierte Betrachtung der Herausforderungen in jeder dieser Phasen ermöglichte eine Ableitung phasenspezifischer Anforderungen an das zu entwickelnde Unterstützungswerkzeug. Zudem wurden allgemeine Anforderungen abgeleitet, die phasenübergreifend von Bedeutung sind. In beiden Fällen wurden besonders wichtige Anforderungen markiert. Darüber hinaus wurde definiert, an welchen spezifischen Punkten das Werkzeug keine Unterstützung bieten soll.

Die Absicherung der ermittelten Anforderungen mit dem Projektbeirat bestätigte die identifizierten Anforderungen. Auch in diesem Rahmen wurden prioritäre Anforderungen markiert, sodass sich die Entwicklungsarbeiten in ihrer Abfolge daran orientieren können.

Die Darstellung der ermittelten Anforderungen in diesem Beitrag umfasst vorwiegend die als besonders wichtig bzw. prioritär gekennzeichneten.

3.1 Allgemeine Anforderungen

Als wesentliche Grundlage einer standort- und grenzüberschreitenden Zusammenarbeit wird ein durchgängiger digitaler Datenfluss gesehen, der auf standardisierten Datenstrukturen basiert. Datenstandards sind dabei wichtig, um Schnittstellen zu verschiedenen Softwarewerkzeugen nutzen zu können – sowohl um auf bestehende Daten zugreifen zu können, bspw. zur Übernahme grundlegender Produktstrukturen aus CAD-Systemen, als auch um ermittelte Daten bereitstellen zu können, bspw. für Lieferanten. Dies vermeidet den Arbeits- und Zeitaufwand für eine manuelle Übertragung von Daten sowie das dabei mögliche Auftreten von Übertragungsfehlern.

Nicht durch das Werkzeug zu unterstützen, sind unternehmensinterne Freigabeprozesse, da diese unterschiedlich ausgestaltet sein können, die Planungsprozesse lediglich flankieren sowie die standort- und grenzüberschreitende Zusammenarbeit nur indirekt betreffen.

3.2 Anforderungen der Vorentwicklungsphase

In der Vorentwicklungsphase ist eine zentrale Anforderung, anhand weniger Informationen eine möglichst valide Abschätzung der Herstellkosten vornehmen zu können. Von großer Bedeutung sind dabei die Kosten der manuellen Handhabung und Montage von Halbzeugen und Bauteilen. Diese sind wesentlich von den Ausführungszeiten abhängig und müssen für in Planung befindliche – nicht physisch vorhandene – Arbeitssysteme ermittelt werden. Hier können Systeme vorbestimmter Zeiten einen wesentlichen Beitrag leisten – sowohl hinsichtlich der Bestimmung von Ausführungszeiten als auch hinsichtlich der Vereinfachung dieser Bestimmung mithilfe von Standardarbeitsabläufen und der dazu bestehenden Softwarewerkzeuge (Bokranz & Landau 2012) – insbesondere bei zunehmender Variantenvielfalt.

3.3 Anforderungen der Produktentwicklungsphase

Die Produktentwicklungsphase greift auf CAD-Modelle und Stücklistendaten der

herzustellenden Produkte zu, um die Montagefähigkeit sicherzustellen und Standardarbeitsabläufe zu erstellen. Aufgrund der Bedeutung der Ergebnisse der Produktentwicklung für die nachfolgenden Planungsschritte sollen die erforderlichen Informationen möglichst frühzeitig vorliegen. Hier können wiederum Systeme vorbestimmter Zeiten verwendet und für die Konkretisierung der Ausführungszeiten eingesetzt werden. Weiterführend ist zu prüfen, ob die Tätigkeitsinhalte der Produktentwicklungsphase mit Methoden der generativen Künstlichen Intelligenz unterstützt werden können, bspw. dahingehend, dass mögliche Arbeitsabläufe vorgeschlagen werden und anschließend von Planenden geprüft und ggf. korrigiert werden können.

3.4 Anforderungen der Prozessentwicklungsphase

Die Strukturierung der Arbeitsabläufe über mehrere Arbeitsstationen in Form eines Prozesskonzepts ist Teil der Prozessentwicklungsphase. Hier sollten dreidimensionale Darstellungen des Produkts, seiner Bestandteile und der konzipierten Arbeitsstationen Unterstützung bieten. Dies ermöglicht es, das entstehende Prozesskonzept mit Bildmaterial zu visualisieren und so leichter verständlich zu machen. Gleichermaßen ermöglichen geteilte Darstellungen des Prozesskonzepts und der einzelnen Arbeitsstationen in Virtueller Realität eine standortunabhängige Abstimmung – gerade, wenn sich die Arbeitsplanung und die Produktion an verschiedenen Standorten befinden. Auf diese Weise lassen sich Reisekosten stark vermindern, Abstimmungsintervalle verkürzen und eine abgestimmte Montagezeit digital ermitteln. Hieran anknüpfend ist es hilfreich, wenn sich Arbeitsanweisungen digital erstellen lassen und die damit verbundenen Textbestandteile automatisch in die Landessprache am jeweiligen Produktionsstandort übersetzt werden können – bspw. mit Unterstützung durch generative Künstliche Intelligenz.

3.5 Anforderungen der Vorserien- und Betriebsphase

Auch über die Planungsphasen hinaus sind Visualisierungen in Virtueller Realität hilfreich – bspw. wenn es um den Hochlauf der entwickelten Abläufe oder deren Weiterentwicklung im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung geht. Dabei sind weiterhin durchgängige digitale Informationsflüsse nützlich, um die Vorteile einer konsistenten gemeinsamen Daten- und Planungsgrundlage nutzen zu können. Eine so ausgestaltete Erfassung iterativer Verbesserungen aus dem Herstellungsprozess erleichtert die Berücksichtigung der damit verbundenen Erkenntnisse bei zukünftigen Planungen und kann ggf. zur Grundlage einer zusätzlichen Planungsunterstützung mittels Künstlicher Intelligenz werden. Darüber hinaus kann Künstliche Intelligenz diese Datengrundlage auch nutzen, um weitere Verbesserungspotenziale für die Vorserien- und Betriebsphase zu ermitteln und zur Umsetzung vorzuschlagen.

4. Fazit und Ausblick

Aktuelle Herausforderungen an die standort- und grenzüberschreitende Zusammenarbeit entlang industrieller Wertschöpfungsketten in Europa wurden anhand der Modellierung bestehender Planungsprozesse der Anwendungsunternehmen im Projekt ProTeam systematisch ermittelt. Daraus wurden Anforderungen an ein Werkzeug

zur Unterstützung der Gestaltung dieser Zusammenarbeit abgeleitet, die sich in Anlehnung an vorhandene Produktentstehungsmodelle strukturieren lassen und durch einen international besetzten Beirat abgesichert wurden.

Zentrale Anforderungen an das zu entwickelnde Werkzeug – als Kombination aus digitalen Technologien und arbeitswissenschaftlichen Prinzipien – sind demnach: Ein (1.) durchgängiger digitaler Informationsfluss und Datenstandard zur Sicherstellung konsistenter Informationen über alle Standorte hinweg, die (2.) Visualisierbarkeit aktueller Planungsstände von Arbeitssystemen zur ortsunabhängigen gemeinsamen Betrachtung und Abstimmung in Virtueller Realität, eine (3.) multilinguale Ausgabemöglichkeit für Planungsergebnisse (bspw. Arbeits- bzw. Montageanweisungen) zur Überwindung sprachlicher sowie kultureller Barrieren, sowie die (4.) Prüfung und ggf. Nutzung von Potenzialen der generativen Künstlichen Intelligenz bspw. zur Vorbereitung und Unterstützung einzelner Planungsschritte sowie zur automatisierten Übersetzung.

Im weiteren Projektverlauf wird das Werkzeug zur Gestaltung standort- und grenzüberschreitender Zusammenarbeit prototypisch entwickelt und in der betrieblichen Praxis der am Projekt beteiligten Anwendungsunternehmen erprobt. Zudem erfolgt ein Transfer der (Zwischen-)Ergebnisse in ein breites Netzwerk von Unternehmen mit industrieller Wertschöpfungskette in der Europäischen Union, um neue Perspektiven für die industrielle Zusammenarbeit in Europa zu eröffnen.

5. Literatur

Bokranz R, Landau K (2012) Handbuch Industrial Engineering: Produktivitätsmanagement mit MTM. Schäffer-Poeschel, Stuttgart.

Dombrowski U, Karl A (2022) Ganzheitlicher Produktentstehungsprozess für die Zulieferindustrie. Springer Vieweg Berlin, Heidelberg.

Killich S, Luczak H, Schlick C, Weissenbach M, Wiedenmaier S. Ziegler, J (1999) Task modelling for cooperative work. Behaviour & Information Technology 18(5)325–338.

Przybysz, Duckwitz (2014) Prozessmodellierung. In: Schlick C (Hrsg) Handreichungen für die betriebliche Praxis, Aachen.

Hinweis: Das Projekt ProTeam (FKZ: 02L23B050) wird im Rahmen des Programms „Zukunft der Arbeit“ vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt und der Europäischen Union über den Europäischen Sozialfonds (ESF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für diesen Beitrag liegt bei den Autoren.

Teamresilienz präklinischer und klinischer Teams: Eine explorative Feldstudie auf Basis von Indikatoren zu „non-technical sklills“

Andreas GLATZ, Thomas MÜHLBRADT

FOM Hochschule für Oekonomie und Management
Dennewartstraße 25, D-52068 Aachen

Kurzfassung: Das steigende Interesse an der Resilienz von Organisationen und Teams führt u.a. zu dem Bedürfnis, Resilienz zu messen. Basierend auf der systemischen Theorie des Resilience Engineerings wurde zu diesem Zweck das Resilience Assessment Grid entwickelt. Die bestehenden Vorgehensweisen beim Einsatz besitzen jedoch bedeutsame Nachteile. Vorgeschlagen wird daher ein Ansatz, der die Messung mithilfe sogenannter Verhaltensmarker vornimmt. Die Re-Analyse einer eigenen explorativen Feldstudie aus der Gesundheitsversorgung wird vorgestellt und die Ergebnisse werden diskutiert. Am Ende steht ein Ausblick auf weitere Forschungsbedarfe.

Schlüsselwörter: Resilience Engineering, Resilience Assessment Grid, Crew Resource Management, Klinik, Rettungsdienst

1. Resilience Engineering

1.1 Komplexe soziotechnische Systeme

Ein soziotechnisches System (STS) besteht aus einem sozialen und einem technischen Teilsystem, die zur Leistungserbringung des Gesamtsystems wechselwirken. Es wird theoretisch davon ausgegangen, dass die optimale Leistung des Systems nur durch eine gemeinsame, abgestimmte Gestaltung der beiden Teilsysteme (joint optimization) erreicht werden kann. Ein Vorschlag zur Definition des Begriffs Komplexität im Rahmen soziotechnischer Systeme wird von Mühlbradt & Unger (2024, 2024b) vorgelegt. Danach beschreibt Komplexität das menschliche Erleben gradueller Abwesenheit von Transparenz, Erklärbarkeit und Vorhersagbarkeit in bedeutsamen Entscheidungs- und Handlungssituationen entweder für Akteure im, oder Beobachter am System. Komplexität ist hier keine Eigenschaft von Objekten, sondern ein relationales Phänomen.

1.2 Resilienz

Nach Walker et al. (2004) kann Resilienz als die Fähigkeit eines Systems verstanden werden, Störungen zu absorbieren und sich während des Wandels so zu reorganisieren, dass es im Wesentlichen dieselbe Funktion, Struktur, Identität und Rückkopplungen beibehält. Bezogen auf soziotechnische Systeme postuliert Hollnagel (2018), dass resilientes Verhalten eines Systems auf den vier Potentialen to monitor, to respond, to anticipate und to learn beruht. Diese sind, als Potentiale, selbst nicht-beobachtbare Konstrukte und daher nur über geeignete Indikatoren zu erfassen.

Betrachten wir die Akteure in einem soziotechnischen System, können wir resilientes Verhalten als erfolgreiche Komplexitätsbewältigung verstehen. Diese Bewältigung sichert die Zielerreichung und bewahrt das System oder Dritte vor Schaden. Vor diesem Hintergrund bekommt das Bedürfnis, das Vorhandensein von Resilienz-förderlichen Fähigkeiten in einem System zu kennen, oder zumindest einschätzen zu können, eine Bedeutung für Produktivität und Sicherheit.

2. Resilience Assessment

2.1 Das Resilience Assessment Grid (RAG)

Das Resilience Assessment Grid (RAG, Chuang et al., 2020) ist ein Ansatz zur Messung von Resilienz. Es soll, als Selbstbewertungsinstrument, Organisationen dabei unterstützen, ihre eigene Resilienz systematisch einzuschätzen. Dies erfolgt durch eine Reihe von Fragen zu den vier o.g. Fähigkeiten. Es existieren orientierende Beispiele für solche Fragen in der Methodik; allerdings schlagen die Autoren vor, passende Indikatoren für die vier Potenziale organisationsspezifisch und individuell zu entwickeln. Ein typischer Weg dafür ist die Einsetzung einer Arbeitsgruppe zur Findung, Formulierung, Bewertung und Auswahl von Indikatoren.

Ein alternativer Weg ist der Versuch, transferierbare Versionen der RAG für abgrenzbare Einsatzbereiche zu finden (Rodriguez et al., 2020 für die Wasserwirtschaft; Safi et al., 2024 für die ambulante Klinik).

2.2 Methodische Kritik am RAG

Beide Vorgehensweisen ziehen eine Reihe von Kritikpunkten auf sich. Bei der individuellen Vorgehensweise bedeuten die Suche und Auswahl geeigneter Indikatoren einen nicht unbeträchtlichen Aufwand. Da in der Regel keine fachlichen Kenntnisse zur Konstruktion von derartigen Instrumenten vorliegen, kann die Validität der Messung zweifelhaft sein. Im Zusammenhang damit ist ebenfalls unklar, welche Akzeptanz der Ansatz in der Organisation findet.

Bei der Vorgehensweise „einheitlich-pro-Fachbereich“ wird der Aufwand deutlich reduziert. Allerdings besteht auch hier, wie bei der individuellen Vorgehensweise, eine spezielle Gefahr in der Verwendung von Ressourcen als Indikatoren. Das ist zwar intuitiv naheliegend, erzeugt aber ein Folgeproblem: Ein Mehr an Ressource würde dann, vorgestellt, die Resilienz erhöhen. Ein solcher Ansatz ist grundsätzlich nicht nach oben limitiert, so dass immer mehr Ressourcen immer besser wären. Ein solcher Indikator wäre sicher nicht realistisch.

3. Strukturierte Bewertung systemischer Resilienz mit Verhaltensmarkern

3.1 Verhaltensmarker-Systeme im Crew Resource Management

In der Luftfahrt werden Cockpitcrews im sogenannten Crew Resource Management (CRM) darauf trainiert, Krisen zu bewältigen und die Funktion des soziotechnischen Systems Flugzeug auch bei Störungen und unter unerwarteten Umständen aufrecht zu erhalten. Nicht-technische Fähigkeiten stehen dabei im Mittelpunkt. Zur Evaluation des Trainingserfolgs wurden Verhaltensmarker erfolgreicher Crews identifiziert. Ein

Verhaltensmarker ist ein spezifisches, beobachtbares Verhalten von Personen, das als Indikator für eine Eigenschaft oder Fähigkeit zählen kann. Eine geordnete, als vollständig gewertete Sammlung von Verhaltensmarkern wird als Verhaltensmarker-System bezeichnet. Beim Transfer des CRM in die Medizin wurden ebenfalls derartige Verhaltensmarker-Systeme transferiert. Derzeit lassen sich ca. 40 solcher Systeme in der Literatur finden (Freter, 2024). Das System von Gaba in den USA wurde von Rall & Gaba (2009) ins Deutsche übersetzt und umfasst 15 Verhaltensmarker.

3.2 Verhaltensmarker als Operationalisierung der vier Faktoren der Resilienz

Das Verhalten erfolgreicher Crews kann als resilientes Verhalten verstanden werden. Daraus folgt die Frage, ob es zwischen RAG und CRM eine theoretisch begründbare und praktisch nutzbare Verbindung gibt und die Verhaltensmarker des CRM als Operationalisierung der Resilienz-Potenziale genutzt werden können. Dieser Ansatz erscheint geeignet, die o.g. Kritikpunkte an der RAG zu überwinden. Für die Validität und Akzeptanz des Ansatzes spricht die Tatsache, dass die Verhaltensmarker bereits in Luftfahrt und Medizin eingeführt und erprobt sind. Aufgrund der strikten Verhaltensorientierung findet sich kein Bezug zu Ressourcen. Der Aufwand zur individuellen Operationalisierung entfällt. Die Einsatzbreite erscheint nicht limitiert.

CRM-Verhaltensmarker wurden zu folgenden Indikatoren für Resilienz-Potentiale reformuliert. Zusätzlich wurde ein neuer Verhaltensmarker für das Potential to learn hinzugefügt: 1. Wir kennen unsere Arbeitsumgebung gut. 2. Bei uns ist immer klar, wer in einer kritischen Situation das Team führt. 3. Im Team kommunizieren wir sicher und effektiv. 4. Wir achten auf gute Teamarbeit. 5. In der Versorgung denken und planen wir voraus. 6. Wir fordern rechtzeitig Hilfe an. 7. Die Arbeitsbelastung ist bei uns zumeist gut verteilt. 8. Wir mobilisieren alle verfügbaren Ressourcen, wenn es mal eng wird. 9. Für Aufgaben und Entscheidungen nutzen wir alle verfügbaren Informationen. 10. Bei wichtigen Aufgaben überprüfen wir genau, ob unser Weg auch stimmt. 11. Wir sind in der Lage, bei neuen Erkenntnissen, auch kurzfristig unsere Vorgehensweise zu ändern. 12. Wir können uns gut auf die jeweils anstehende Aufgabe konzentrieren. 13. Wir sind in der Lage, unsere Annahmen zu hinterfragen und Irrtümer zu erkennen. 14. Wir verwenden Checklisten und andere Merkhilfen. 15. In dynamischen Situationen können wir unsere Prioritäten verändern. 16. In unserer täglichen Arbeit lernen wir voneinander.

4. Feldstudie

4.1 Untersuchungsfeld

Als Untersuchungsfeld wurde die medizinische Versorgung gewählt. Befragt wurden Ärzte und Pflegefachkräfte in drei Abteilungen verschiedener Krankenhäuser in NRW sowie Ärzte, Rettungspersonal verschiedener Ausbildungsgänge bei einem regionalen Rettungsdienst in NRW. Details zeigt die Tabelle 1.

Tabelle 1: *Teilnehmende Einrichtungen und Teilnehmerzahlen.*

Nr.	Typ	Bereich	N
1	Krankenhaus	Anästhesiologie & Intensivmedizin	64
2	Krankenhaus	Anästhesiologie & Intensivmedizin	99
3	Krankenhaus	Zentrale Notaufnahme	21
4	Rettungsdienst	Rettungsdienstpersonal	99
			283

4.2 Vorgehenweise

Die Befragungen wurden in den Einrichtungen über verschiedene Medien beworben und es wurden QR-Codes für den Befragungszugang ausgehängt. Die Durchführung des Online Survey erfolgte von Dezember 2023 bis März 2024. Der Fragebogen bestand aus Fragen zur Berufsgruppe, Abteilung und CRM-Erfahrung sowie aus den oben genannten 16 Indikatoren. Die Ausprägung der Indikatoren wurde mit Hilfe von Likert-Skalen erhoben. Nach der Präsentation des Indikators wurden die Befragten aufgefordert: „Bitte schätzen Sie ein, inwieweit diese Aussage für ihr Team zutreffend ist.“ Eine im ersten Fall verwendete 4er-Skala wurde später zugunsten der 6er-Skala aufgegeben (1 „gar nicht“ bis 6 „voll und ganz“). Darunter befand sich jeweils ein Freitextfeld mit der Überschrift: „Kommentar zu Ihrer Einschätzung (optional)“. Nach der Datenauswertung und -aufbereitung wurden die Ergebnisse in den Einrichtungen präsentiert und besprochen. Die später durchgeführte Re-Analyse erbrachte insbesondere nachstehende Ergebnisse.

5. Ergebnisse

5.1 Quantitative Ergebnisse

Die Teilnahmequoten lagen zwischen 44% und 78% der Zielgruppen in den Einrichtungen. Die Dropout Raten (Fragebogen besucht, aber nicht beantwortet) zwischen 8.7% und 25%.

Zur Überprüfung der faktoriellen Struktur der Daten wurde eine explorative Faktorenanalyse (EFA, PFA) mit 7 Items durchgeführt (n = 216, nicht-ärztliche Responder). Die EFA-Eignung ist gegeben (KMO = 0,91; Bartlett-Test: $\chi^2(21) = 539{,}41$, $p < .001$). Die Analyse zeigte für folgende Items einen Faktor (Ladung in Klammern): Zweifel (.748), Hilfe (.743), Antizipiere (.726), Re-Evaluiere (.714), Fixierungsfehler (.706), Informationen (.677), Teamarbeit (.631).

Für den Faktor fanden sich signifikante Unterschiede. Es liegen insbesondere folgende signifikante Unterschiede innerhalb von Standorten vor: am Standort A zwischen OP-Pflege/OTA und Anästhesie-Pflege ($U = -62.55$, $z = -2.41$, $p < .05$) sowie zwischen Intensiv-Pflege und Anästhesie-Pflege ($U = 48.71$, $z = 2.13$, $p < .05$); am Standort C zwischen Notfallsanitäter/in und Rettungssanitäter/in ($U = -34.71$, $z = -2.76$, $p < .01$) sowie zwischen Notfallsanitäter/in und Rettungshelfer/in ($U = -56.48$, $z = -2.32$, $p < .05$). Es liegen zudem insbesondere folgende signifikante Unterschiede zwischen Standorten vor: zwischen Anästhesie-Pflege am Standort B und Rettungssanitäter/in am Standort C ($U = -34.85$, $z = -2.13$, $p < .01$) sowie zwischen Anästhesie-Pflege am Standort B und Rettungshelfer/in am Standort C ($U = -56.61$, $z = -2.15$, $p < .05$) und auch zwischen Notfallsanitäter/in am Standort C und

Intensiv-Pflege am Standort B (U = 26.65, z = 2.21, p < .05) - siehe dazu Boxplots zur Teamresilienz bezüglich ausgewählter Standorte/Berufsgruppen in Abbildung 1.

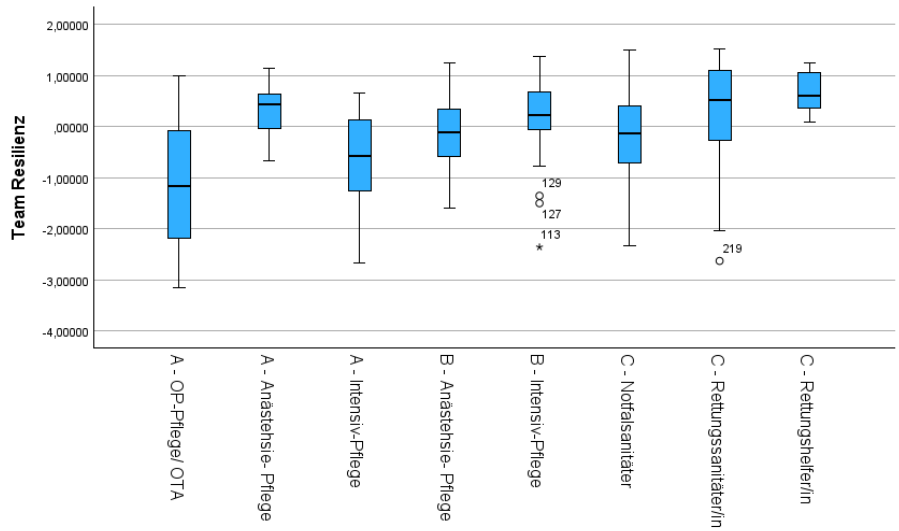


***Abbildung 1**: Boxplots zur Teamresilienz an ausgewählten Standorten/Berufsgruppen.*

5.2 Qualitative Ergebnisse

Augenscheinlich zeigen die freitextlichen Kommentare, dass die Items verstanden worden sind. Diese Einschätzung wird auch dadurch gestützt, dass die via künstlicher Intelligenz kategorisierten freitextlichen Kommentare im Zuge einer Korrespondenzanalyse nahe bei den entsprechenden Items platziert werden.

Nach der Erhebung war, auf Basis der freitextlichen Kommentare, eine Zuordnung der freitextlichen Kommentare zu den vier Resilienz-Potenzialen möglich. ChatGPT ordnete 56.2 und Copilot 63.0 Prozent der Antworten einer der vier Potenziale zu. Der Zusammenhang der Zuordnungen war mit r = .87 stark. Im Mittel konnten etwa folgende Prozentanteile zugeordnet werden: respond 18, monitor 16, learn 14 und antizipate 12. Der Rest entfiel auf Teamdynamik & soziale Spannungen, Führungs- und Strukturdefizite, Motivation & Haltung sowie auf „unklare und widersprüchliche Aussagen“.

6. Diskussion

Grundsätzlich kann der dargestellte Ansatz als vielversprechend gewertet werden. Der identifizierte Faktor erklärt 50,05% der Gesamtvarianz (Kommunalitäten 0,40 - 0,56; Faktorladungen 0,63 - 0,75; Cronbach’s Alpha = 0,87). Inhaltlich lässt er sich als „Teamresilienz“ interpretieren – gemeinsame Denk-, Planungs- und Entscheidungsprozesse, die zur Widerstandsfähigkeit von Teams beitragen. Es zeigen sich für den Faktor signifikante Unterschiede zwischen Berufsgruppen, sowohl innerhalb von Standorten als auch standortübergreifend. Diese können durch ihre jeweiligen Vertreter in den Einrichtungen auch gut eingeordnet werden. Qualitativ bestätigt sich das Verständnis der Items. Zudem ist via künstlicher Intelligenzen eine robuste Zuordnung der Items zu Hollnagels Resilienzpotenzialen möglich. Kritisch anzumerken ist, dass es sich um ein self-selected sample von CRM-Befürwortern handelt und die höchsten Antwortstufen oft vergleichsweise hoch besetzt sind (Ceiling-

Effekt). Dieser kann teilweise jedoch auch auf die allgemeine Zustimmungstendenz zurückgehen – vgl. Paulhus 1991. Aus diesem Grund wird die Operationalisierung der Indikatoren derzeit von Statements auf Fragen umgestellt. Dabei wird auch der Verhaltensbezug der Items noch stärker berücksichtigt. Denn auch dies verspricht mehr Varianz. Eine weitere Befragungswelle ist für das Frühjahr 2026 vorgesehen. Gelingt es, diese Vorgehensweise weiter zu entwickeln und zu bestätigen, liegt ein universeller Ansatz zur Operationalisierung und Messung der Resilienz-Potentiale nach Hollnagel vor. Dies stellt einen methodischen Fortschritt bei der systemischen Resilienz dar. Gleichzeitig wird eine Brücke geschlagen zwischen dem Resilience Engineering und dem Crew Resource Management.

7. Literatur

Chuang S, Ou J C, Hollnagel E, Hou S K (2020) Measurement of resilience potential – development of a resilience assessment grid for emergency departments. PLoS ONE, 15 (9. September 2020), 1–17.

Freter C (2024) Verhaltensmarker als Instrument bei Trainings in der Akut- und Notfallmedizin. Unveröffentlichte Master-Thesis. FOM Hochschule, Studiengang Wirtschaftspsychologie, Aachen.

Hollnagel E. (2018) Safety-II in practice: Developing the resilience potentials. Routledge; New York.

Mühlbradt T, Unger H (2024) Was ist komplex an komplexen soziotechnischen Systemen? Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (GfA) (Hrsg.): Tagungsband zur 70. GfA-Frühjahrskonferenz, 6.-8. März 2024, Stuttgart. GfA: Sankt Augustin.

Mühlbradt T, Unger H (2024b) Resilienzorientiertes Führen im Gesundheitswesen. In: Fichtner-Rosada S, Heupel T, Hohoff C, Heuwing-Eckerland J (Hrsg.) Kompetenzen für die Arbeitswelt der Zukunft. Wiesbaden: Springer Gabler. S.373-388.

Paulhus D L (1991) Measurement and control of response bias. In Robinson J P, Shaver P R, Wrightsman L S (Hrsg.) Measures of Personality and Social Psychological Attitudes (S. 17–59). Academic Press.

Rall M, Gaba D (2009) Human performance and patient safety. In Miller R et al. (Hrsg.) Miller's Anesthesia (S. 93–150). Elsevier Churchhill Livingstone.

Rodríguez M, Lawson E, Butler D (2020) A study of the Resilience Analysis Grid method and its applicability to the water sector in England and Wales. Water and Environment Journal, 34(4), 623–633.

Safi M, Thude B R, Brandt F, Austin E, Williams R C.(2024) The application of the Resilience Assessment Grid in outpatient clinics: A validation study. Safety Science, 171(August 2023).

Walker B, Holling C, Carpenter S, Kinzig A (2004) Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. In: Ecology and Society 9:2.

Danksagung: Diese Publikation ist Teil des Forschungs- und Entwicklungsprojektes „Resilientes Transformationsmanagement zur Kreislaufwirtschaft in der Textilindustrie – RETRAKT", gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des ESF Plus-Programms „Zukunft der Arbeit" als Teil des Fachprogramms „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit" und betreut durch den Projektträger Karlsruhe (PTKA). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Potenziale digitaler Technologien für die Arbeitsgestaltung in einer resilienten europäischen Schuhindustrie

Marina JENTSCH[1], Sönke KNOCH[2], Jonas MOHR[2], Delia SCHRÖDER[1], Valentin SEIMETZ[2], Dana WOLF[1]

[1] Institut für Technologie und Arbeit e.V.
Eisenbahnstraße 40-42, D-67655 Kaiserslautern
[2] Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH
Stuhlsatzenhausweg 3, D-66123 Saarbrücken

Kurzfassung: Die Schuhproduktion in Europa ist im weltweiten Vergleich mit einem starken Kostendruck konfrontiert, steht aber gleichzeitig für qualitativ hochwertige Produkte zu fairen Bedingungen. Am Beispiel der Produktion von Barfußschuhen in Portugal wird untersucht, wie moderne KI-Technologie eingesetzt werden kann, um die Qualitätssicherung in den Arbeitsprozess zu integrieren und die Arbeitsgestaltung zu verbessern. In einem interdisziplinären Team wurden dabei mehrere Workshops zur Anforderungserhebung mit der Produktion in Portugal abgehalten und ein Prototyp für eine Montageassistenz beim Einzeichnen von Klebemarkierungen entwickelt und erprobt. Erstes Feedback im Rahmen einer informellen Studie mit sechs Teilnehmer*innen zeigt, dass das System effektive Hinweise zur Verbesserung gibt und das Potenzial hat, körperliche Entlastung zu leisten.

Schlüsselwörter: Arbeitsgestaltung, Assistenzsysteme, Schuhindustrie, Menschzentrierte KI, Computer Vision, Wearables

1. Herausforderungen in der europäischen Schuhindustrie

Dieser Beitrag beleuchtet die aktuellen Herausforderungen der Arbeitsgestaltung in der europäischen Schuhindustrie und zeigt auf, wie diesen durch den Einsatz digitaler Technologien und sozio-technologischer Ansätze begegnet werden kann. In Deutschland und Europa hat die Branche in den vergangenen Jahrzehnten enorme strukturelle Veränderungen erfahren.

Die Produktion ist nach wie vor geprägt von manuellen Prozessen und ist besonders arbeitsintensiv. Dabei steigen jedoch die Arbeits- und Rohstoffkosten kontinuierlich, während die Preise im Einzelhandel tendenziell eher sinken, was die Einnahmen reduziert und den Wettbewerbsdruck verschärft (MarketLine 2022). Als Folge des starken Wettbewerbs setzen die Produzenten in Europa auf Know-how und Kreativität, auf die Herstellung von spezialisierten Produkten wie z. B. Spezial- oder Designerschuhen, aber auch auf die Nutzung der Vorteile der internationalen Diversifikation (BMWK 2024; MarketLine 2022). Seit Jahrzehnten werden die besonders arbeitsintensiven Fertigungsschritte oder die komplette Produktion in Länder mit geringeren Lohnkosten verlagert – innerhalb der EU und in sogenannte Niedriglohnländer (DIW 1998). Damit sind die Schuhhersteller mit den typischen Herausforderungen der internationalen Wertschöpfung konfrontiert. Die Produktion von Schuhen ist stark risikobehaftet in menschenrechtlicher Perspektive (z. B. prekäre Arbeitsbedingungen, Diskriminierung, Gefährdung von Gesundheit und Sicherheit)

(Displan & Mendler 2021). Ein weiteres Problem ist die Sicherung der Produktqualität, denn durch die Spezialisierung der deutschen Unternehmen auf hochwertige Schuhe steigen ihre Qualitätsansprüche (Displan & Mendler 2021). Dafür sind nicht nur qualitätssichernde Maßnahmen, sondern auch Prozessabstimmungen und der Wissensaustausch entlang des Produktionsnetzwerks notwendig.

Digitalisierung spielt in vielen Industriezweigen eine entscheidende Rolle beim Erlangen von Wettbewerbsvorteilen. Auch für die genannten Herausforderungen der Qualitätssicherung oder – in Kombination mit einer humanzentrierten Arbeitsgestaltung – zur Einhaltung von Sozial- und Umweltstandards in der Wertschöpfungskette werden digitale Technologien eingesetzt. In innovativeren, qualitäts- und performanceorientierten Segmenten der europäischen Schuhindustrie kommen etwa CAD/CAM, 3D-Scanning und 3D-Druck im Entwicklungsprozess zum Einsatz (Luximon & Luximon 2021). In den Produktionsprozessen und der Vernetzung der Akteure im Wertschöpfungsnetzwerk bleiben die Digitalisierungspotenziale jedoch weitgehend ungenutzt (Displan & Mendler 2021).

In dem vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) geförderten Projekt MELLOW wird untersucht, wie digitale Technologien und KI zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der Schuhbranche sowie zur Verbesserung von Arbeitsprozessen beitragen können. In diesem Beitrag werden ein Use Case des Projekts vorgestellt und die erwarteten Effekte aufgezeigt.

2. Use Case *Wildling Shoes*

Als Beispiel dient der deutsche Schuhanbieter Wildling Shoes GmbH. Das Unternehmen mit Sitz in Engelskirchen wurde 2015 gegründet und stellt Barfußschuhe mit hohen Qualitätsanforderungen und großer Produktvarianz her. Aktuell arbeitet Wildling Shoes mit vier Produktionsfirmen in Portugal zur Fertigung der Schuhe. Eine davon ist Totalpage aus Felgueiras. Totalpage ist ein 2011 gegründetes Unternehmen mit aktuell ca. 60 Beschäftigten. Die Produktion ist stark von manuellen Prozessen geprägt. Es werden kaum moderne computergestützte Technologien eingesetzt. Das Unternehmen sieht sich zunehmend damit konfrontiert, die Fehleranfälligkeit händischer Produktionsprozesse trotz steigender Modell- und Materialvarianz zu reduzieren und dabei neue technische Lösungen zum Einsatz zu bringen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Daran anknüpfend wird im Projekt MELLOW ein Assistenzsystem mit KI-Funktionalität entwickelt, das hilft, die Produktqualität zu verbessern und die Werker*innen in ihrer Arbeit zu unterstützen. Gleichzeitig soll die technische Lösung und deren Einsatz in den Arbeitsprozessen den Bedürfnissen der Mitarbeitenden entsprechen, um bestmögliche Arbeitsergebnisse und hohe Arbeitszufriedenheit zu erzielen.

Um den Anwendungsfall zu präzisieren, wurde im März 2025 eine Bestandsaufnahme durchgeführt. Neben der Betriebsbegehung und der teilnehmenden Beobachtung bei Totalpage lieferten qualitative Interviews ein gutes Bild über den aktuellen Stand. Es wurden insgesamt fünf Interviews durchgeführt.

Als Use Case wurde der Prozess der Markierung von Außensohlen ausgewählt, da dieser besonders fehleranfällig ist, weitere Fehler beim Ankleben der Sohle nach sich zieht und zur physischen Belastung durch Monotonie und Körperhaltung führt. Besonders die spezielle Sohle mit einem Spalt in der Mitte ist für eine korrekte Markierung problematisch. Der Arbeitsprozess ist einfach und dauert unter einer Minute pro Schuh. Der Markierer nimmt den Schaft auf dem Leisten aus einer

Maschine, legt die Sohle darauf und markiert die Kante mit einem unter UV-Licht sichtbaren Stift (siehe Abbildung 1). Dabei wird der Leisten mit einer Hand gehalten und für Stabilität an den eigenen Körper herangedrückt, mit der anderen Hand wird markiert, zwischendurch wird der Schuh mit beiden Händen mehrfach gedreht. Anschließend wird der Leisten auf das Förderband gestellt. Die Ausführung der Tätigkeit erfordert eine grundlegende Qualifikation sowie eine überschaubare, spezifische Einarbeitung.

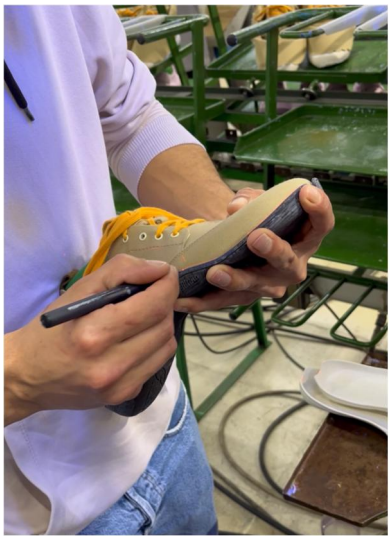


Abbildung 1: *Markierung von Außensohlen (aktueller Stand).*

Die Beschäftigten wünschen sich mehr Präzision bei der Linienführung und die Möglichkeit, Fehler in der frühen Phase festzustellen und zu vermeiden sowie die Markierung zu korrigieren. Das MELLOW-Assistenzsystem soll diese Bedarfe aufgreifen und durch den menschzentrierten Ansatz bestmögliche Arbeitsergebnisse ermöglichen.

3. Menschzentrierte Lösungsentwicklung

Eine menschzentrierte Lösungsentwicklung für digitale und KI-gestützte Assistenztechnologien lässt sich in drei Phasen strukturieren: (1) Technologieentwicklung, (2) Technologieeinführung und (3) Technologieeinsatz. Entsprechend dem Prinzip der Menschzentrierung sind diese Phasen so zu gestalten, dass digitale Assistenz ergonomisch und adaptiv ausgelegt, qualifizierend wirksam sowie partizipativ und kontextangepasst in bestehende Arbeitsprozesse integriert werden (vgl. dazu auch Bechinie et al. 2024; Pokorni et al. 2021). Menschzentrierte Technologieentwicklung verläuft innerhalb und zwischen diesen Phasen typischerweise in iterativen Schritten, in denen digitale Assistenzsysteme also systematisch an Nutzer*innen, Aufgaben und Kontext angepasst werden (ISO 2019).

Auch im Projekt MELLOW wurde der Nutzungskontext in der Schuhproduktion analysiert: wer das Assistenzsystem nutzen soll (Werker*innen, Vorarbeiter*innen), welche Aufgaben, Arbeitsbedingungen und Belastungen vorliegen und welche Probleme im aktuellen Ablauf bestehen (ISO 2019; Bechinie et al. 2024). Darauf aufbauend wurden Nutzungs- und Organisationsanforderungen in Workshops mit Vertreter*innen aus den beteiligten Unternehmen weiter spezifiziert, etwa welche vor-

und nachgelagerten Schritte relevant sind, welche Informationen bei dem relevanten Arbeitsschritt benötigt werden und welche Umgebungsbedingungen zu berücksichtigen sind (z.B. Licht, Lärm, Arbeitssicherheit, Taktzeiten oder Qualifikationsniveau (ISO 2019; Pokorni et al. 2021). Darauf aufbauend wurde ein Lastenheft erstellt und der erste Prototyp für die technische Lösung konzipiert und mit Pilotnutzer*innen aus der Fabrik einem Usability-Test unterzogen.

In der sich anschließenden Einführungsphase sollen ganzheitliche Gestaltungslösungen für das Assistenzsystem bis zu funktionsfähigen Pilotsystemen entwickelt werden. D.h. das Konzept der Mensch-Maschine-Interaktion, die Gestaltung der Schnittstelle zu den Anwender*innen, die – idealerweise – adaptive Informationsbereitstellung (angepasst an Nutzendenvoraussetzungen) und die Einbettung in den Arbeitsablauf sollen schrittweise verfeinert und gemeinsam mit den Beschäftigten vor Ort in Portugal erprobt werden. Die Evaluation im realen Arbeitskontext ist eine zentrale Voraussetzung, um Usability, Akzeptanz, Verständlichkeit, Arbeitsbelastung und Leistungswirkung zu prüfen und das System auf Basis des Feedbacks anzupassen (Bechinie et al. 2024; NIST 2021; Pokorni et al. 2021). Diese Einführungsphase ist besonders wichtig, denn sie ist entscheidend für die Akzeptanz: „(...) it is of major importance to develop a positive user experience. However, a positive user experience does not appear by itself but must be systematically investigated and designed.“ (Bechinie et al. 2024)

Für den dauerhaften Technologieeinsatz gilt schließlich als Kernprinzip, dass Nutzer*innen früh und kontinuierlich beteiligt bleiben, der Entwurf durch nutzendenzentrierte Evaluation gesteuert wird und technische Realisierung, Arbeitssystemgestaltung sowie partizipative Einführungsprozesse verzahnt geplant werden, um Akzeptanz, Lernchancen und menschengerechte Arbeitsgestaltung sicherzustellen (Bechinie et al. 2024; ISO 2019; NIST 2021).

4. Entwicklung eines KI-basierten Assistenzsystems

Der MELLOW-Arbeitstisch (siehe Abbildung 2, links) wurde im Projekt entwickelt und verfügt über eine Halterung, die den Schuh am Tisch fixiert und um 2 Achsen rotierbar macht. Zur besseren Ergonomie ist der Tisch zusätzlich in der Höhe verstellbar. In der Mitte des Tisches befindet sich ein Bildschirm, um den Werker*innen Handlungshinweise anzuzeigen. Darauf aufbauend wurde weitere Sensorik und Beleuchtungstechnik angebracht. Seitlich sorgt eine UV-Lampe für die Sichtbarkeit der Markierung durch den UV-Stift und die darunter befindliche Webcam erkennt die Linie zur weiteren Verarbeitung. Zum Schutz der Werker*innen wurde ein Blech an der UV-Lampe angebracht.

Die Software des gesamten Arbeitstisches besteht aus mehreren Komponenten, die Sensordaten aufzeichnen, einem Monitoring-Dashboard, das alle erfassten und verarbeiteten Daten visualisiert, sowie KI-Diensten, die die Daten auswerten und interpretieren. Die Kommunikation erfolgt über einen lokalen Server, mit welchem auch Informationen zwischen dem Werkerführungssystem und der Qualitätskontrolle sowie Aktivitätserkennung ausgetauscht werden können.

Der Tisch ist mit mehreren Kamerasystemen ausgestattet. Oberhalb des Tisches befindet sich eine Azure Kinect DK Tiefenbildkamera, die mit Hilfe des Azure Kinect Bodytracking SDKs Körperbewegungen erkennt und analysiert (siehe Abbildung 2, rechts). Zudem werden mittels eines neuronalen Netzes die Lage und Rotation des Schuhes erkannt. Weitere Kameras dienen der gezielten Erkennung der gezeichneten

Markierung zur Qualitätskontrolle. Diese erfassen basierend auf der Rotation des Schuhes Bilder, welche dann zunächst verarbeitet und anschließend mit Sollwerten – einer Ideallinie – verglichen werden. Dabei wird mittels Kantenerkennung eine Funktion abgeleitet, welche die Markierung beschreibt, und anschließend auf Ähnlichkeit überprüft. In einer weiteren Ausbaustufe soll zusätzlich eine Anomalieerkennung trainiert werden, welche basierend auf guten und schlechten Beispieldaten den aktuellen Zustand der Markierung begutachtet. Als Grundlage hierzu sollen mit Hilfe von DinoV3 (Siméoni et al. 2025) Embeddings (Merkmalsvektoren) erzeugt werden und anschließend die Anomalien mit einem Autoencoder erkannt werden.

Abbildung 2: *Links: MELLOW-Arbeitstisch. Rechts: Kameraansicht mit Bodytracking.*

Ein Myo EMG-Armband wird dem Arbeitenden angezogen, um Muskelaktivitäten sowie Bewegungsdaten der markierenden Hand zu erfassen. Damit können Griffmuster und auch plötzliche, ruckartige Bewegungen erkannt werden, welche auf einen potenziellen Fehler rückschließen lassen. Künftig soll in einer multi-modalen Fusion von den oben genannten Sensordaten (Kamera und Sensorarmband) nach ausreichender Referenzdatenaufnahme eine KI-Pipeline implementiert und trainiert werden, die Fehler voraussagen und somit noch früher intervenieren kann.

Mitarbeitende aus der Produktion und dem Management wurden in den Prototypen-Test eingebunden: Die 6 Teilnehmenden markierten am MELLOW-Arbeitstisch jeweils 2 Schäfte in unterschiedlichen Schuhgrößen und -farben. Dabei wurde zusätzlich zur gewöhnlichen flexiblen Schablone eine festere Schablone aus dem 3D-Drucker bereitgestellt. Die Teilnehmenden wurden zudem vorab instruiert, bei einem Schuh absichtlich einen Fehler zu machen, um das Feedback des Assistenzsystems zu demonstrieren. Da die Implementierung noch nicht abgeschlossen ist, wurde der Test als sog. Wizard-of-Oz-Experiment durchgeführt und das Feedback eingesammelt.

In der Bewertung des Systems durch die Teilnehmenden stach unter anderem der Qualitätscheck und das User Feedback positiv heraus. Optimierungsbedarf sah man vor allem im Zeitbedarf für den einzelnen Schuh, da dieser mehrfach für die optische Qualitätssicherung vor der Kamera durch Drehung positioniert werden musste.

5. Angestrebte Effekte

Neben den Potenzialen für die Weiterentwicklung des Arbeitssystems vor Ort wurde in MELLOW untersucht, welche neuen Möglichkeiten der Einsatz von KI-Verfahren für die Qualitätssicherung und Arbeitsverbesserung in der Schuhproduktion bietet. Für Wildling Shoes steht MELLOW für eine innovative Weiterentwicklung ihrer Prozesse unter Einsatz fortschrittlicher digitaler Technologien und zugunsten einer erhöhten Prozessqualität und -sicherheit bei den Werker*innen.

Im Ergebnis zielt das Assistenzsystem darauf ab Werker*innen zu befähigen, präzisere Markierungen zu zeichnen und bei Fehlern direkt zu korrigieren, und damit die Qualitätskontrolle in den Fertigungsprozess am Ort der potenziellen Fehlerentstehung zu integrieren. Gleichzeitig soll das ergonomisch ungünstige Festhalten der Schuhe durch die neu entwickelte schwenkbare Schuhhalterung vermieden und damit eine Entlastung geschaffen werden.

Das Assistenzsystem wird nun unter Berücksichtigung des erhobenen Feedbacks weiterentwickelt und für den testweisen Einsatz im Betrieb vorbereitet. MELLOW leistet somit einen Beitrag zur Prozessoptimierung in internationalen Werkverbünden, zur Qualitätssteigerung und nachhaltigen Gestaltung der Arbeit in der Schuhindustrie sowie zur Resilienz der Schuhbranche in Zeiten großer Marktumbrüche.

6. Literatur

Bechinie C, Zafari S, Kroeninger L, Puthenpura J, Tscheligi M (2024) Toward human-centered intelligent assistance systems in manufacturing: Challenges and potentials for operator 5.0. Procedia Computer Science 232: 1584–1596.

BMWK (2024) Branchenfokus Schuhindustrie. Abgerufen am 17.12.2025. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Branchenfokus/Industrie/branchenfokus-schuhindustrie.html.

Displan J, Mendler L (2010) Branchenanalyse Leder- und Schuhindustrie. Entwicklungstrends und Herausforderungen. Hans-Böckler-Stiftung (Hrsg) Working Paper Forschungsförderung. Nr. 210, Juli 2021.

DIW, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (1998) Europäische Schuhindustrie unter Druck. In: DIW-Wochenbericht 29/98, 527-533.

ISO, International Organization for Standardization (2019) ISO 9241-210:2019 – Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interactive systems.

MarketLine (2022) MarketLine Industry Profile: Footwear Retail in Europe. Abgerufen am 17.12.2025. https://research.ebsco.com/c/judg2t/search/details/g65zxu6ier?db=bsu&limiters=FT%3AY&q=JN+%22Footwear+Industry+Profile%3A+Europe%22&searchMode=boolean.

Luximon A, Luximon Y (2021) New technologies—3D scanning, 3D design, and 3D printing. In: Luximon A (Ed) Handbook of Footwear Design and Manufacture, 2nd ed.: Woodhead Publishing, 477-503.

NIST (2021) Human Centered Design (HCD). National Institute of Standards and Technology. Abgerufen am 05.01.2026. https://www.nist.gov/itl/iad/visualization-and-usability-group/human-factors-human-centered-design.

Pokorni B, Braun M, Knecht C (2021) Menschzentrierte KI-Anwendungen in der Produktion. Praxiserfahrungen und Leitfaden zu betrieblichen Einführungsstrategien. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO (Hrsg). Abgerufen am 05.01.2026. http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-624956.html.

Siméoni O, Vo HV, Seitzer M, Baldassarre F, Oquab M, Jose C, Khalidov V, Szafraniec M, Yi S, Ramamonjisoa M, Massa F, Haziza D, Wehrstedt L, Wang J, Darcet T, Moutakanni T, Sentana L, Roberts C, Vedaldi A, Tolan J, Brandt J, Couprie C, Mairal J, Jégou H, Labatut P, Bojanowski P (2025) DINOv3. *arXiv preprint* arXiv:2508.10104. https://doi.org/10.48550/arXiv.2508.10104

Totev S, Sariiski G (2010) Industrial Delocalization in an Integrating Europe. A Survey of Enterprises in the Footwear Industry. Eastern European Economics 48:43–63.

Von Momentaufnahme zu Prognose: Resilienzfaktoren und Burnout über sechs Monate

Jens KNISPEL, Veneta SLAVCHOVA, Viktoria ARLING

Institut für Psychologie, Lehr- und Forschungsgebiet Gesundheitspsychologie
RWTH Aachen University, Jägerstr. 17-19, D-52066 Aachen

Kurzfassung: Burnout stellt eine erhebliche gesundheitliche Belastung dar, die langfristig die Leistungs- und Beschäftigungsfähigkeit gefährdet. Berufliche Resilienz als „psychische Anpassungs- und Widerstandfähigkeit“ kann anhand von sieben Facetten schützend wirken. In einer sechsmonatigen Studie mit drei Messzeitpunkten (t1–t3) wurden 79 Beschäftigten untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Resilienzfacetten quer- und längsschnittlich mit der Burnout Symptomatik zusammenhängen und insbesondere Selbstfürsorge und Optimismus die Burnout Symptomatik vorhersagen. Damit bestätigen die Ergebnisse frühere querschnittliche Befunde und unterstreichen die Bedeutung der Selbstfürsorge und des Optimismus für die Prävention und Beschäftigungsfähigkeit von Mitarbeitenden.

Schlüsselwörter: Burnout, berufliche Resilienz, Selbstfürsorge, Optimismus, Prävention

1. Hintergrund und Zielstellung

Psychische Störungen gehören inzwischen zu den drei häufigsten Ursachen für eine Arbeitsunfähigkeit und stellen sowohl Beschäftigte als auch Arbeitgebende vor erhebliche Herausforderungen (Schenkel et al. 2024). Vor diesem Hintergrund überrascht es kaum, dass sowohl die Burnout-Fallzahlen als auch die Burnout-bedingten Arbeitsunfähigkeitstage in den vergangenen zehn Jahren einen Höchststand erreicht haben. Burnout kann damit als eine zentrale gesundheitliche Belastung betrachtet werden, die die langfristige Leistungs- und Beschäftigungsfähigkeit deutlich gefährdet.

Berufliche Resilienz als „psychische Anpassungs- und Widerstandsfähigkeit“ verstanden, gilt als zentraler Schutzfaktor für die mentale Gesundheit von Beschäftigten (Lui et al. 2020; Hu et al. 2015). Berufliche Resilienz wirkt damit auch Burnout entgegen, da resiliente Mitarbeitende Belastungen wie Arbeitsüberlastung oder Zeitdruck besser abfedern können und so Erschöpfung sowie Depersonalisation vorbeugen. Damit trägt Resilienz wesentlich zur langfristigen Erhaltung von Gesundheit, Leistungsfähigkeit und Beschäftigungsfähigkeit bei (Bakker & Demerouti 2017; Ilmarinen 2019; Richardson 2017).

Resilienz ist im Berufsleben durch verschiedene Ressourcen charakterisiert. Knispel et al. (2024) haben daher speziell für den Berufskontext ein 7-Säulen-Modell entwickelt, das sieben Bereiche der beruflichen Resilienz abdeckt: Optimismus, Akzeptanz, Lösungsorientierung, Selbstfürsorge, Netzwerkorientierung, Verantwortungsübernahme und Zukunftsplanung.

Bisherige querschnittliche Untersuchungen konnten bereits Zusammenhänge zwischen den beruflicher Resilienz-Facetten und Burnout zeigen (Arling et al. 2025).

Allerdings können nur wiederholte Messungen im Zeitverlauf zeigen, ob Resilienz tatsächlich kausal zur Reduktion von Burnout-Symptomen beiträgt. Der prädiktive Vergleich mit querschnittlichen Analysen ist dabei besonders sinnvoll: Während Querschnitte aktuelle Zusammenhänge sichtbar machen, belegen Längsschnitte, ob Resilienz zukünftige Veränderungen im Burnout-Verlauf vorhersagt. So lassen sich Momentaufnahmen von stabileren kausalen Effekten unterscheiden und die Aussagekraft zur Burnout-Prävention erhöhen.

Vor diesem Hintergrund bestand das Ziel der vorliegenden Untersuchung darin, die Vorhersagekraft beruflicher Resilienz für die Burnout-Symptomatik zu drei Messzeitpunkten zu untersuchen (t1: Baseline, t2: 1 Monat nach Baseline; t3: 6 Monate nach Baseline).

- Fragstellung 1: Wie hängen die Facetten der beruflichen Resilienz mit der Burnout-Symptomatik zu den drei Messzeitpunkten zusammen? (Unter-suchung von Zusammenhängen)
- Fragestellung 2: Welche Facetten sind für die Vorhersage der Burnout-Symptomatik querschnittlich zur Baseline (t1) und längsschnittlich einen Monat nach der Baseline (t2) und sechs Monate nach der Baseline (t3) besonders wichtig? (hierarchische Regressionen)

2. Methode

Insgesamt haben 79 Personen, an allen drei Messzeitpunkten der Online-Befragung teilgenommen (49 Frauen, 30 Männer; Durchschnittsalter: 43,3 Jahre, SD =13,3). In Teilzeit arbeiteten 31 (39.2%) und in Vollzeit 48 (60.8%) Befragte. Die Stichprobe war als eher hoch gebildet zu charakterisieren und setzte sich bzgl. ihrer beruflichen Tätigkeiten heterogen zusammen.

Als Einschlusskriterium galt ein aktuell bestehendes Arbeitsverhältnis mit einem Beschäftigungsumfang von mindestens 20 Wochenstunden. Die Akquise erfolgte über soziale Netzwerke (LinkedIn). Zu den drei Messzeitpunkten (t1 = Baseline, t2 = ein Monat nach Baseline, t3 = sechs Monate nach Baseline) wurden die sieben Facetten der beruflichen Resilienz (RB-7-30, Knispel et al., 2024) und die Burnout-Symptomatik mithilfe der Burnout-Subskala des Burnout-Mobbing-Inventars erfasst (Satow, 2013).

In Tabelle 1 sind die verwendeten Fragebögen mit Beispielitems dargestellt. Die interne Konsistenz der Fragebögen fällt zufriedenstellend bis exzellent aus (Blanz, 2015).

***Tabelle 1*:** *Fragebögen, Beispielitems und Reliabilitäten der eingesetzten Instrumente.*

Fragebogen	Beispielitem	Zeitpunkt	Cronbachs α
Berufliche Resilienz (RB-7-30; Knispel et al., 2024; Skalierung von 1 = ‚stimme überhaupt nicht zu' bis 6 = ‚stimme voll und ganz zu')			
Optimismus	Ich bin mir sicher, dass ich an beruflichen Krisen wachsen kann.	t1, Baseline	0.71
Akzeptanz	Ich kann damit umgehen, dass ich nicht auf alles im Berufsleben einen Einfluss habe.	t1, Baseline	0.78
Lösungsorientierung	Bei beruflichen Schwierigkeiten suche ich Lösungen aus mehreren Blickwinkeln.	t1, Baseline	0.77
Selbstfürsorge	Ich höre auf meinen Körper und gönne ihm Ruhepausen vom Beruf.	t1, Baseline	0.87
Netzwerkorientierung	Bei beruflichen Schwierigkeiten suche ich aktiv nach Unterstützung durch Kollegen.	t1, Baseline	0.74
Verantwortungsübernahme	Wenn ich auf der Arbeit einen Fehler mache, übernehme ich dafür Verantwortung.	t1, Baseline	0.77
Zukunftsorientierung	Ich habe klare berufliche Ziele, die ich verfolge.	t1, Baseline	0.90
Burnout (Subskala Burnout vom Burnout-Mobbing-Inventar; Satow, 2013; Skalierung von 1 = „trifft nicht zu" bis 4 = „trifft genau zu")			
Burnout-Symptomatik	Ich fühle mich von meinen Aufgaben oft völlig überfordert und erschöpft.	t1 (Baseline)	0.77
		t2; (1 Monat nach t1)	0.75
		t3 (6 Monate nach t1)	0.81

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigten insgesamt hohe Resilienzausprägungen und ein niedriges bis mittleres Burnout-Niveau in der Stichprobe (vgl. Tabelle 2).

Bei Betrachtung der Person-Korrelationen (vgl. Tabelle 2) lässt sich erkennen, dass zu allen drei Messzeitpunkten weniger Symptome eines Burnouts bedeutsam mit einer hohen Ausprägung in den beruflichen Resilienzfacetten Optimismus (Ausnahme t1, kein signifikanter Zusammenhang p = 0.075), Akzeptanz, Selbstfürsorge, Netzwerkorientierung einhergehen. Es ergeben sich dabei Zusammenhänge mittlerer Stärke (Cohen, 1988). Die deutlichsten Zusammenhänge lassen sich zu allen drei Messzeitpunkten zwischen Burnout und Selbstfürsorge erkennen. Bezüglich Lösungsorientierung, Verantwortungsübernahme und Zukunftsplanung zeigen durchweg keine statistisch signifikanten Zusammenhänge.

Zur Prüfung der Vorhersagekraft einzelner Facetten beruflicher Resilienz wurden hierarchische Regressionen mit Vorwärtsselektion für die Burnout-Symptomatik durchgeführt (vgl. Tabelle 3). In der querschnittlichen Analyse zum Zeitpunkt der Baseline-Erhebung (t1) erklärte die Facette Selbstfürsorge 14,4 % der Varianz der Burnout-Symptome. In der längsschnittlichen Betrachtung sagten Selbstfürsorge und Optimismus zur Baseline-Erhebung (t1) 25,9 % der Burnout-Symptomatik vier Wochen später (t2) voraus. Sechs Monate nach der Baseline-Erhebung (t3) ließen sich

schließlich 22,2 % der Varianz in der Burnout-Symptomatik durch dieselben beiden Prädiktoren erklären.

Tabelle 2: *Deskriptive Statistiken und Pearson-Korrelationen zwischen den Facetten der beruflichen Resilienz und der Burnout-Symptomatik über drei Messzeitpunkte betrachtet.*

		Berufliche Resilienz – t1						
	AM (SD)	Optimismus	Akzeptanz	Lösungsorientierung	Selbstfürsorge	Netzwerkorientierung	Verantwortungsübernahme	Zukunftsplanung
Burnout-t1	15.58 (4.00)	-.163	-.309**	-.011	-.394**	-.237*	.004	-.090
Burnout-t2	15.58 (4.00)	-.198*	-.339**	-.012	-.490**	-.325**	.048	-.012
Burnout-t3	16.29 (4.57)	-.237*	-.364**	-.058	-.432**	-.213*	.016	.052
	AM (SD)	4.59 (0.56)				4.26 (0.88)	4.79 (0.62)	4.29 (0.99)	4.73 (0.87)	5.37 (0.48)	4.37 (0.98)

Anmerkungen: ** p < .001; * p < .05; Berufliche Resilienz (RB-7-30, Knispel et al., 2024): Wertebereich von 1-6; Burnout (BMI, Satow, 2013): Wertebereich von 8–32; t1 = Baseline; t2 = 1 Monat nach t1; t3 = 6 Monate nach t1

Tabelle 3: *Hierarchische Regressionsanalysen zur Vorhersage der Burnout-Symptomatik zu t1, t2 und t3 durch die Facetten der beruflichen Resilienz.*

	b	SE	Beta	T-Wert	Signifikanz	R^2 (ΔR^2)
Vorhersage der Burnout-Symptome zu t1 durch die beruflichen Resilienz-Facetten zu t1 (Baseline)						
Modell 1						0.144 (-)
(Intercept)	2.803	0.233		12.001	< .001	
Selbstfürsorge	-0.199	0.053	-0.394	-3.759	< .001	
Vorhersage der Burnout-Symptome zu t2 (1 Monat nach t1) durch die beruflichen Resilienz-Facetten zu t1 (Baseline)						
Modell 1						0.230 (-)
(Intercept)	3.084	0.225		13.714	< .001	
Selbstfürsorge	-0.252	0.051	-0.490	-4.926	< .001	
Modell 2						0.259 (0.029)
(Intercept)	3.898	0.460		8.466	< .001	
Selbstfürsorge	-0.251	0.050	-0.489	-5.017	< .001	
Optimismus	-0.178	0.088	-0.196	-2.014	.048	
Vorhersage der Burnout-Symptome zu t3 (6 Monate nach t1) durch die beruflichen Resilienz-Facetten zu t1 (Baseline)						
Modell 1						0.176 (-)
(Intercept)	3.109	0.262		11.882	< .001	
Selbstfürsorge	-0.250	0.059	-0.432	-4.205	< .001	
Modell 2						0.222 (0.055)
(Intercept)	4.208	0.531		7.928	< .001	
Selbstfürsorge	-0.249	0.058	-0.431	-4.321	< .001	
Optimismus	-0.240	0.102	-0.235	-2.358	.021	

4. Diskussion und Fazit

Die Ergebnisse dieser Studie fügen sich in die bestehende Forschung ein, die Selbstfürsorge als einen wesentlichen Schutzfaktor gegenüber Burnout identifiziert (Busis et al. 2017; Arling et al. 2025). Es wird deutlich, dass Beschäftigte, die stärker auf eigene Bedürfnisse und Regeneration achten, weniger von Erschöpfung und Depersonalisation betroffen sind.

Neben der Selbstfürsorge zeigt sich in der längsschnittlichen Analyse, dass auch der Optimismus ein weiterer relevanter Prädiktor ist und dass die Kombination beider Faktoren über mehrere Monate hinweg stabile Zusammenhänge erklären. Damit schließt diese Studie an die Erkenntnisse von Kim et al. (2021) und Arling et al. (2025) an, die bereits zeigen konnten, dass ein höherer Optimismus mit einer geringeren Burnout Symptomatik einhergeht. Gleichzeitig weisen die längsschnittlichen Ergebnisse daraufhin, dass die berufliche Resilienz durch verschiedene Facetten geprägt ist, die gemeinsam zur Aufrechterhaltung von Gesundheit und Beschäftigungsfähigkeit beitragen.

Für die Praxis bedeutet dies, dass Interventionen zur Burnout-Prävention gezielt Selbstfürsorge und Optimismus stärken sollten, da beide Facetten eng mit weiteren Resilienzfacetten verbunden sind und so gezielte Ansatzpunkte für Trainings zur Förderung einer langfristigen beruflichen Teilhabe eröffnet werden.

5. Take Home Message

Die Studie zeigt, dass vor allem Selbstfürsorge und Optimismus zentrale Resilienzfaktoren darstellen, die Burnout-Symptome über sechs Monate hinweg vorhersagen und damit Ansatzpunkte für nachhaltige Prävention und Beschäftigungsfähigkeit bieten.

6. Literatur

Arling V, Slavchova V, Knispel J (2025) Berufliche Resilienz von Beschäftigten als Schutzfaktor gegen Stresserleben und Burnout. 34. Rehabilitationswissenschaftliches Kolloquium der DRV, 131:326-328.

Bakker AB, Demerouti E (2017) Job demands-resources theory: Taking stock and looking forward. Journal of Occupational Health Psychology 22:273-285. https://doi.org/10.1037/ocp0000056

Blanz M (2021) Forschungsmethoden und Statistik für die Soziale Arbeit: Grundlagen und Anwendungen, 2. Auflage. Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer. http://www.kohlhammer.de/wms/instances/KOB/appDE/nav_product.php?product=978-3-17-039818-4

Busis NA, Shanafelt TD, Keran CM, Levin KH, Schwarz HB, Molano JR, Vidic TR, Kass JS, Miyasaki JM, Sloan JA, Cascino TL (2017) Burnout, career satisfaction, and well-being among US neurologists in 2016. Neurology 88:797-808. https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000003640

Cohen J (1988) Statistical power analysis for the behavioral sciences, 2nd edition. Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum Associates. https://doi.org/10.4324/9780203771587

Hu T, Zhang D, Wang J (2015) A meta-analysis of the trait resilience and mental health. Personality and Individual Differences 76:18-27. https://doi.org/10.1016/j.paid.2014.11.039

Ilmarinen J (2019) From Work Ability Research to Implementation. International Journal of Environmental Research and Public Health 16:2882. https://doi.org/10.3390/ijerph16162882

Kim DI, Loo LK, Garrison RC, Motabar A, Yu M, Nathaniel B, Ulrich MT, Skoretz L, Jafari J, Calzia M, Gilmore M, Firek A (2021) Does teaching optimism lower burnout in residency training: A pilot study. Journal of Community Hospital Internal Medicine Perspectives 11:429-432. https://doi.org/10.1080/20009666.2021.1910408

Knispel J, Slavchova V, Kahlhofer F, Arling V (2024) Entwicklung und dimensionale Validierung einer 7-Säulen-Resilienzskala für den Berufskontext (RB-30). 33. Rehabilitationswissenschaftliches Kolloquium der DRV, 130:28-30.

Liu JJW, Ein N, Gervasio J, Battaion M, Reed M, Vickers K (2020) Comprehensive meta-analysis of resilience interventions. Clinical Psychology Review 82:1-12. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2020.101919

Richardson GE (2002) The metatheory of resilience and resiliency. Journal of Clinical Psychology 58:307-321. https://doi.org/10.1002/jclp.10020

Satow L (2013) BMI – Burnout-Mobbing-Inventar. https://doi.org/10.23668/psycharchives.4537

Schenkel A, Meyer M, Düring A, Baumgardt J (2025) Krankheitsbedingte Fehlzeiten in der deutschen Wirtschaft im Jahr 2024. In: Badura B, Ducki A, Meyer M, Baumgardt J, Schröder H (Hrsg) Fehlzeiten-Report 2025, S. 345–421. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-71885-8_24

Resilience of work systems: Conducting a design science research approach to synthesize theory towards a conceptual model for manufacturing SMEs

Felix GÜNTHER, Thomas SÜßE

Human Resources and Organisation, University Bielefeld
Langer Weg 9a, D-33332 Gütersloh

Abstract: This paper develops a conceptual model for resilience-oriented work systems in manufacturing SMEs. Using the DSR approach, it integrates resilience theory, work system theory and socio-technical principles. The model links the four resilience phases with the MTO components and highlights communication, trust and error culture as central dynamics. The work closes a theoretical gap by combining resilience engineering and work system theory and provides a foundation for designing resilience-oriented work systems.

Keywords: Resilience, Work Systems, SMEs, DSR

1. Introduction

Manufacturing SMEs are increasingly faced with global dynamics, geopolitical tensions and technological changes that threaten both economic stability and operational performance (Kuckertz et al., 2020). Resilience is becoming increasingly important in this context and is used as a strategic concept in many companies. It enables companies to respond flexibly and robustly to disruptions (Zander, 2025). While existing research mostly considers resilience at the organisational level, there is a lack of understanding of the integration at all company levels, e.g. work systems, which are central to value creation (Rolfe, 2019). Despite this relevance (Nyhuis & Schmidt, 2025) there are hardly any approaches to the systematic resilience-oriented design of work systems, especially with regard to the interlinking of resilience theory and work system theory under the influence of socio-technical design principles. The aim of this paper is therefore to answer the research question: “How can a conceptual model of a resilience-oriented socio-technical work system in manufacturing SMEs be designed?” The research follows the design science research approach, interlinks the relevant theories and develops an initial model that is tested in a theoretical iteration.

2. Theoretical background

The theoretical basis covers three areas of research: resilience, work system theory and socio-technical systems. An overview of the literature shows that all three perspectives provide valuable elements for the design of resilience-oriented work systems.

2.1 Resilience

The definition of resilience has developed across disciplines and is discussed in various fields of study (Thun-Hohenstein et al., 2020). In manufacturing SMEs, it is gaining importance due to global dynamics and describes the ability to anticipate, manage and adapt to disruptions and learn from them (Hollnagel et al., 2006). Duchek (2020) defines resilience as a process comprising the phases of anticipation, coping and adaptation. Resilience engineering identifies responding, monitoring, anticipating and learning as key capabilities for a resilient system (Hollnagel et al., 2006). Other approaches emphasise flexible resources, skills and networks (Lengnick-Hall et al., 2011) as well as a proactive culture, resilience, recovery and learning ability (ISO 22316).

2.2 Work systems

Work systems form the operational basis of value creation and are described by models that capture the interaction between people, technology and organisation. The work system framework presents nine central elements and uses the work system life cycle to illustrate the dynamic development of work systems (Alter, 2013). The REFA model focuses on people, work equipment and work processes, as well as efficiency and ergonomic aspects (Luczak, 1997). Leavitt's Diamond Model illustrates systemic dependencies with mission, technology, structure and people (March, 1965). For resilience-oriented systems, this means that adjustments always affect all components.

2.3 Socio-technical systems

Socio-technical approaches underline the unity of people, technology and organisation and their inseparable optimisation (Eisenmann, 2023; Latniak et al., 2023). The research of Trist und Bamforth (1951) showed that technical changes without social consideration lead to resistance and that ‘joint optimisation’, i.e. simultaneous consideration, is necessary. More modern developments of the approach highlight the need for systematic design. The interaction of social and technical elements is central to resilience-oriented work systems (Reuter et al., 2016). The MTO model supports the analysis of these interactions (Strohm, 2019) and is particularly relevant for digitalisation and Industry 4.0.

3. Methodological approach

The methodological approach describes the structuring of the research process from problem identification to theoretical evaluation. The paper is based on the design science research (DSR) approach of Hevner (2004) structured because the research topic identifies a clear gap in application. There is a lack of scientific knowledge on how resilience can be designed at the level of work systems, as existing theories are too abstract at the organisational level (Duchek, 2020). With its cycles, DSR enables this gap to be closed in a research-based and practical manner. The relevance cycle ensures practical relevance, the rigour cycle ensures scientific rigour, and the design cycle develops a conceptual model of a resilience-oriented work system.

The research process follows the main iterative phases of problem identification, artefact development and evaluation (Hevner et al., 2004). It begins with a critical analysis of the literature, followed by the development of an artefact that exploits the theoretical gaps to design a resilience-oriented work system. The evaluation is carried out theoretically and ensures scientific rigour.

The artefact to be developed is a conceptual model that transfers abstract resilience theory to the operational level of work systems. The interactions between people, technology and organisation must be taken into account in accordance with socio-technical design principles. The model serves to bring together resilience and work system theory and transfers their dynamic elements to a static work system model.

4. Results

The literature is critically examined with the help of a problematising literature analysis regarding the requirements and design approaches of a conceptual model for a resilience-oriented work system (Grant & Booth, 2009). The theories form the basis for model development and show that complex systems must be viewed holistically. Socio-technical systems theory understands work systems as a unity of social and technical subsystems, while resilience theory describes organisations as dynamic systems that act through anticipation, coping, adaptation and learning. Work systems theory provides the methodological basis for analysing operational structures.

4.1 Overlaps

Work systems are described in all approaches as complex social systems whose performance depends on the interaction of technical, social and organisational components. Dynamics and the importance of interaction between humans and technology are at the centre of all theories.

4.1.1 Gaps

There is a lack of systematic integration between the processes of resilience theory and the rather static structures of work system theory. Resilience theory remains too abstract, while social factors such as communication, trust and error culture are underrepresented in work system models. Learning processes and feedback loops are largely absent. In addition, integration must consider human-centred work design and low stress levels, which are missing from resilience theory (Sträter & Zwingmann, 2025).

4.1.2 Design requirements

Resilience requires phase-based design elements and a socio-technical perspective that incorporates communication processes, interfaces and a culture of error tolerance. Learning impulses following disruptions must be integrated into the human, technical and organisational components. The system must be scalable and comply with the principles of human-centred design. These requirements form the basis for model development.

4.2 Development of the conceptual model

The model in Figure 1 integrates the resilience phases into the static structures of a work system and represents the interaction between people, technology and organisation as a socio-technical triangle. Disruptions primarily occur at interfaces. Communication, trust and error culture form the central dynamic component. The resilience phases encompass the network and illustrate the continuous development process. The system is influenced by environmental conditions and follows the REFA basic scheme of input and output.

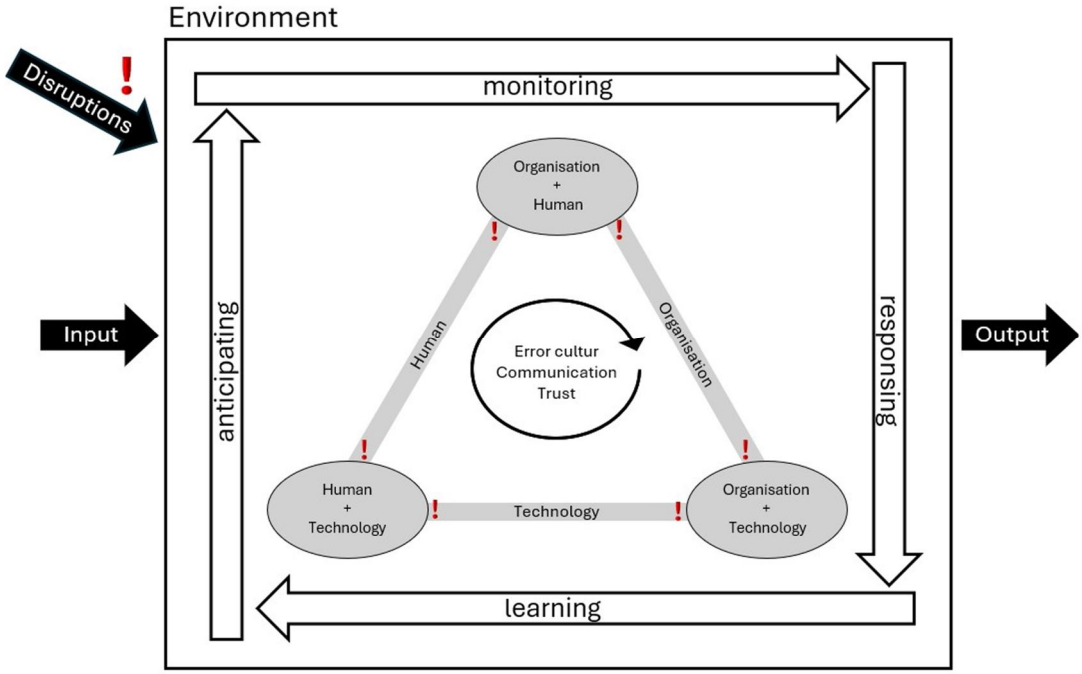


***Figure 1**: First development of the conceptual model.*

4.3 Theoretical evaluation

The evaluation examines the consistency of the model with the underlying theories and design requirements. It shows that the resilience phases have been successfully transferred to the operational level and that the socio-technical perspective has been integrated. Communication processes, error culture and trust are adequately represented. However, there is no clear feedback loop that makes learning processes visible.

4.4 Model iteration

The further development in Figure 2 depicts the resilience phase ‘learning’ as an inward-facing loop to the MTO components. This makes the continuous learning process visible and strengthens the dynamic learning ability of the system.

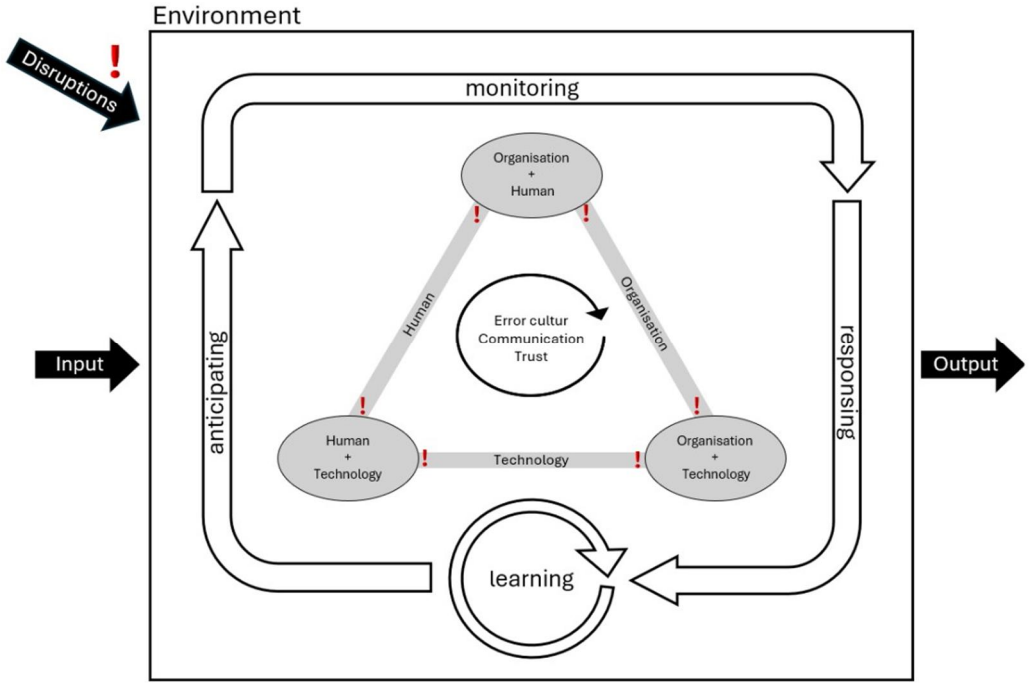


***Figure 2**: The conceptual model with a loop after the iteration.*

5. Discussion

The aim of this research was to develop a conceptual model for resilience oriented work systems in manufacturing SMEs. Using the DSR process, an artefact was created that links resilience and work system theory with a socio technical perspective. The model in section 4.4 answers the research question by integrating communication, trust and error culture into the MTO triangle, operationalising resilience across the four phases, and ensuring learning ability through the added learning loop. This learning ability strengthens resilience by enabling the work system to learn from disruptions and adapt. The theoretical contribution lies in combining resilience with work system theory and integrating socio technical design principles, giving equal weight to technical, organisational and social factors. This closes the research gap and provides the foundation for resilience oriented work systems.

6. Limitations and conclusion

The main limitation is the lack of empirical evaluation, as the model has only been tested theoretically and offers no practical evidence for SMEs. It remains a conceptual model without measurable indicators, and its generalisability is unclear. Future research should include empirical case studies, develop measurable resilience indicators, and examine the system's learning ability. The work closes a gap by linking resilience and work system theory and, through DSR, integrates dynamic resilience phases with static work system elements and MTO interactions. The added learning loop highlights the system's learning capability. The model provides a theoretical basis that now requires empirical validation.

7. Literature

Alter, S. (2013). Work System Theory: Overview of Core Concepts, Extensions, and Challenges for the Future. Journal of the Association for Information Systems, 14(2), 72–121. https://doi.org/10.17705/1jais.00323

Duchek, S. (2020). Organizational resilience: A capability-based conceptualization. Business Research, 13(1), 215–246. https://doi.org/10.1007/s40685-019-0085-7

Eisenmann, M. (2023). Konzeptrahmen: Soziotechnische Perspektive zur Anpassungsfähigkeit und Digitalisierung von Arbeit. In M. Eisenmann, Soziotechnische Optimierungs- und Anpassungsfaktoren im Arbeitssystem Smart Maintenance (S. 17–53). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-41135-0_2

Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. Health Information & Libraries Journal, 26(2), 91–108. https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x

Hevner, A., R, A., March, S., T, S., Park, Park, J., Ram, & Sudha. (2004). Design Science in Information Systems Research. Management Information Systems Quarterly, 28, 75.

Hollnagel, E., Woods, D., & Leveson, N. (2006). Resilience Engineering: Concepts and Precepts. Resilience Engineering: Concepts and Precepts.

Kuckertz, A., Brändle, L., Gaudig, A., Hinderer, S., Morales Reyes, C. A., Prochotta, A., Steinbrink, K. M., & Berger, E. S. C. (2020). Startups in times of crisis – A rapid response to the COVID-19 pandemic. Journal of Business Venturing Insights, 13, e00169. https://doi.org/10.1016/j.jbvi.2020.e00169

Latniak, E., Tisch, A., & Kauffeld, S. (2023). Zur Aktualität soziotechnischer Arbeits- und Systemgestaltungsansätze in Zeiten von Digitalisierung und KI. Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO), 54(1), 1–8. https://doi.org/10.1007/s11612-023-00673-w

Lengnick-Hall, C. A., Beck, T. E., & Lengnick-Hall, M. L. (2011). Developing a capacity for organizational resilience through strategic human resource management. Human Resource Management Review, 21(3), 243–255. https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2010.07.001

Luczak, H. (Hrsg.). (1997). Kerndefinition und Systematiken der Arbeitswissenschaft. In Handbuch Arbeitswissenschaft (S. 11–19). Schäffer-Poeschel.

March, J. G. (Hrsg.). (1965). Handbook of organizations. Rand McNally & Company. https://doi.org/10.4324/9780203629130

Nyhuis, P., & Schmidt, M. (2025). Das Arbeitssystem – Ort der Wertschöpfung Teil 1: Beschreibungsmodelle. In P. Nyhuis & M. Schmidt, Logistische Modelle der innerbetrieblichen Lieferkette (S. 93–137). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-70758-6_4

Reuter, C., Ludwig, T., & Pipek, V. (2016). Kooperative Resilienz – ein soziotechnischer Ansatz durch Kooperationstechnologien im Krisenmanagement. Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO), 47(2), 159–169. https://doi.org/10.1007/s11612-016-0317-7

Rolfe, M. (2019). Positive Psychologie und organisationale Resilienz: Stürmische Zeiten besser meistern. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55758-7

Sträter, O., & Zwingmann, B. (2025). Kontexte, Bedingungsgefüge und Ermöglichungen einer menschengerechten Arbeitsgestaltung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft. https://doi.org/10.1007/s41449-025-00497-y

Strohm, O. (with Ulrich, E.). (2019). Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten: Ein Mehr-Ebenen-Ansatz unter besonderer Berücksichtigung von Mensch, Technik und Organisation. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.

Thun-Hohenstein, L., Lampert, K., & Altendorfer-Kling, U. (2020). Resilienz – Geschichte, Modelle und Anwendung. Zeitschrift für Psychodrama und Soziometrie, 19(1), 7–20. https://doi.org/10.1007/s11620-020-00524-6

Trist, E. L., & Bamforth, K. W. (1951). Some Social and Psychological Consequences of the Longwall Method of Coal-Getting: An Examination of the Psychological Situation and Defences of a Work Group in Relation to the Social Structure and Technological Content of the Work System. Human Relations, 4(1), 3–38. https://doi.org/10.1177/001872675100400101

Zander, T. R. (2025). Agilität und Resilienz in der KMU-Führungspraxis. In C. Kastner, D. Hesmer, & W. Krings (Hrsg.), Führung im Wandel (S. 119–132). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-47645-8_8

Gewappnet für den Notfall: Spielbasiertes Training für Teamresilienz

Simon FRONCZEK, Tobias SANDERS

Arbeit, Technik und Bildung gGmbH
Neefestraße 76, D-09119 Chemnitz

Kurzfassung: Resiliente Teams erhöhen die Widerstandsfähigkeit von Organisationen. Der Beitrag zeigt auf, wie Teamresilienz in produzierenden Unternehmen mittels spielbasierter Resilienzinterventionen gestärkt werden kann. Hierfür wird eine Taxonomie vorgestellt, die analoge und digitale Spiele als Trainingsbausteine bewertet und Zieldimensionen der Teamresilienz zuordnet. Abschließend werden zentrale Wirkkomponenten, wie die Wahl kooperativer, strukturierter Spiele sowie ein strukturiertes Debriefing zur Übertragung in den Arbeitsalltag, vorgestellt.

Schlüsselwörter: Teamresilienz, spielbasiertes Training, kooperative Spiele, Workshopintervention, Resilienzintervention

1. Einleitung

Unsicherheiten und Krisen wie Rohstoffknappheit, Produktionsausfälle und Kostendruck erschweren die operative Arbeit in produzierenden Unternehmen zunehmend (Alliger et al. 2015; Schijven & Kikkawa, 2023). Aufgrund der komplexen Charakteristik der Herausforderungen stehen vermehrt (interdisziplinäre) Teams im Fokus von Praxis und Forschung (Kozlowski & Bell 2003), wobei insbesondere *resilienten Teams* die Fähigkeit zugeschrieben wird, neuartige Herausforderungen zu bewältigen. Teamresilienz kann als eine dem Team inhärente Ressource gesehen werden, durch welche diese mit schwierigen Situationen umgehen und sich von Widrigkeiten und Rückschlägen erholen können (Alliger et al. 2015; Stovernik et al. 2020). Dadurch steigern resiliente Teams die operative Widerstandsfähigkeit von Organisationen, beispielsweise durch höhere Handlungsfähigkeit und verlässlichere Kommunikationsstrukturen in unsicheren Situationen (Stovernik et al. 2020; Wybo 2008). Tabelle 1 bietet eine Übersicht über die Verhaltensweisen resilienter Teams.

Einwirkungsmöglichkeiten auf Teamresilienz sind multifaktoriell. So können Debriefings und „Was-wäre-wenn“-Szenarien helfen, sich auf zukünftige Herausforderungen einzustellen und aus vergangen schwierigen Situationen zu lernen (Allinger et al. 2015). Auch kann die Simulationen von Ereignissen sowie die damit zusammenhängende Nachbereitung der Verhaltensweisen (Gomes et al. 2014) die Teamresilienz verbessern. Eine weitere Abstraktionsebene schaffen *spielbasierte Interventionen* (Bernal & Lempiälä 2025; Fenton-O'Creevy et al. 2015; Rajeev & Kalpathi 2016), welche auch in Workshop-Settings eingesetzt werden können. Spielbasierte Interventionen können als strukturierte und geplante Teamaktivitäten definiert werden, welche Spielmechaniken, Regeln und interaktive Elemente nutzen, um spezifische Lern- oder Entwicklungsziele zu erreichen (Arnab & Clarke 2017; Epstein et al. 2021). Innerhalb dieser *spielbasierten Resilienzinterventionen* befinden sich die Teams in einer sicheren Umgebung, in welcher Fehler nicht zu negativen Konsequenzen führen. Dies unterstützt dabei, Wagnisse in Kauf zu nehmen und alte

(Team-)Muster aufzubrechen, was zu verbesserten Lerneffekten führen kann (Parker & Du Plooy 2021). Die durch den Spielcharakter entstandene Abstraktionsebene kann dabei helfen, organisatorischen Praktiken zu reflektieren, und Veränderungen der organisatorischen Abläufe zu initiieren (Raybourn 2006; Stettina et al. 2018), um so potenziell herausfordernde Situationen zu antizipieren und negative Auswirkungen zu reduzieren. Ebenso kann spielbasiert trainiert werden, Bedenken in kritischen Situationen außer Acht zu lassen, um zeiteffizient zu arbeiten (Morschheuser & Hamari 2019).

Tabelle 3: *Eigenschaften resilienter Teams nach Allinger et al. 2015.*

Phase	**Mögliche Teampraktiken**
Antizipation & Monitoring	Erstellen von Szenarien, Monitoring eigener Fähigkeiten um Schaden zu minimieren, Bewusstsein über die Fähigkeiten der Teammitglieder sowie Belastungen schaffen
Managen	Schaffen von Überblick über die Situation, direktes Eingehen auf dringliche und „chronische“ Aufgaben, dauerhafte Kommunikation um Informationsasymmetrien zu reduzieren, ein geteiltes Situationsverständnis herzustellen und Entscheidungen zeitnah zu koordinieren sowie mögliche Unterstützungsmöglichkeiten der Teammitglieder zu identifizieren
Aus- und verbessern	Aktiv entscheiden, ob und wann die „Krise“ überstanden ist, entscheiden welche Verhaltensweisen aus der Krise übernommen werden und welche neuen Verhaltensweisen die operative Arbeit bzw. das Überwinden zukünftiger Krisen erleichtern können

Mit der Ausnahme der sogenannten High-Performance-Organisationen (u.a. Feuerwehr und Rettungsdienste (z.B. Blaney et al. 2024; Galbusera et al. 2022)) wurden spielbasierte Methoden zur Resilienzsteigerung bisher nicht ausreichend betrachtet (Jacob et al. 2022; Schijven & Kikkawa 2023). Der vorliegende Beitrag adressiert diese Forschungslücke und skizziert, wie die Resilienz von Teams im privaten Sektor verbessert werden kann. Der Fokus liegt dabei auf spielbasierten Methoden, insbesondere auf *Resilienzinterventionen* auf der Basis von Gesellschafts- und Videospielen (Maresch & Kampman 2023).

2. Spielbasierte Methoden zur Verbesserung der Teamresilienz

Aufbauend auf eigenen Workshop-Erfahrungen sowie einer Analyse bekannter Spielformate wurde eine kurze Taxonomie (siehe Tabelle 2) entwickelt. Diese stellt sechs beispielhafte Spiele vor, die in Workshops eingebaut werden können, um so einzelne Aspekte der Teamresilienz zu verbessern. Die Auswahl wurde dabei so gestaltet, eine möglichst breite Spanne an Möglichkeiten aufzuzeigen. So wurden kooperative und kompetitive sowie analoge (Brett-) und digitale (Video-)Spiele gewählt[12]. Zusätzlich beschreibt die Taxonomie mögliche Zieldimensionen (Hartwig et al. 2020) mit Bezug zur Teamresilienz sowie die Mechaniken der Spiele.

[12] Einige Spiele basieren darauf, dass sie sowohl Software als auch haptische Gegenstände erfordern. Diese Spiele sind analog zu didaktischen Lehrmethoden hier als „Blended“ bezeichnet.

Tabelle 4: Übersicht über mögliche Spiele zur Verbesserung der Teamresilienz.

Spiel	Medium	Spielart	Mögliche Zieldimensionen	Spielmechaniken	Schwierig-keitsgrad	Anzahl Personen	Dauer (Min.)	Verlag/ Publisher
Keep Talking and Nobody Explodes	Blended (Endgerät, Anleitung notwendig)	Kooperativ: Rätsel unter Zeitdruck	Entscheidungsfindung unter Unsicherheit, Störungsresistenz, Kommunikationsroutinen	Zeitdruck, Informationsassymetrie	Mittel	2 bis 4	ca. 5 je Runde	Steel Crate Games
MicroMacro: Crime City	Analog (Wimmelbild: Stadtplan, digitale Demo verfügbar)	Kooperativ: Detektivspiel, Kooperation & Strategie	Kommunikation, kooperative Problemlösung, Fehlerkultur	Kooperative Kommunikation, analytisches Denken	Niedrig	2 bis 4	Variabel	Edition Spielwiese
Minecraft	Digital	Kooperativ und kompetitiv: Kreativität, Open World, Sandbox	Experimentierfreude, Kommunikation, Onboarding, Teamorientierung und -integration, Simulation und Planspiele integrierbar.	Ressourcensammeln, Bauen, Kooperation, Programmieren, Rollenverteilung	Konsolenspiel-erfahrung notwendig	min 2	min 20	Mojang Studios (Microsoft)
Ninja Akademie	Analog (Brettspiel)	Kompetitiv: Geschicklichkeit, Strategie, rundenbasiert	Entscheidungsfindung unter Unsicherheit	Geschicklichkeit, Bluffen, Raten, Wetten	Niedrig	3 bis 5	20 bis 30	SPIEL DAS!
Dorfromantik – Das Brettspiel	Analog (Brettspiel, auch digital verfügbar)	Kooperativ: Legespiel, sequenziell	Gemeinsame Planung, Entscheidungsfindung, Positive Fehlerkultur, Teamnormen	Auftrags- / Zielmanagement, Flächenausbau	Niedrig	1 bis 6	30 bis 60	Pegasus Spiele
Overcooked!	Digital	Kooperativ: Echtzeit-Task-Management unter Zeitdruck	Kommunikation unter Stress; adaptive Rollen-/Aufgabenverteilung, Störungsmanagement, Situationsbewusstsein	Zeitdruck, Ressourcenkonflikte, Regelwechsel	Hoch	1 bis 4	Ca. 5 je Runde	Team17

3. Diskussion

Aufbauend auf der Tabelle 2 können Spiele ausgewählt werden, um einzelne Dimensionen der Teamresilienz zu trainieren (McEwen & Boyd 2018). Aufgrund der relativen Kürze einzelner Spielrunden kann im Kontext der Resilienzinterventionen sowohl die Dauer, der Schwierigkeitsgrad als auch die Zieldimension der spielbasierten Einheiten variiert werden.[13] Dies erlaubt mehrere Spielrunden mit diversen Schwerpunkten und gradual steigendem Niveau.

Die Wahl des Spiels ist darüber hinaus von der Spielart abhängig: Kompetitive Spiele (als Beispiel hier das Brettspiel *Ninja Akademie*) sollten mit Bedacht eingesetzt werden, da der kompetitive Charakter der Spiele zu Konflikten innerhalb des Teams führen kann (Brouwer 2016). Ebenso sind komplexe digitale Open World-/ Sandbox-Spiele (z.B. *Minecraft*) nur bedingt und vor allem bei entsprechend affinen Lernenden zu empfehlen – während in den Spielen *MicroMacro* (ein kooperatives Wimmelbildspiel mit Storycharakter) und *Keep Talking and Nobody Explodes* (ein kooperatives Bombenentschärfungsszenario unter Zeitdruck) die Ziele genau definiert sind, hat das digitale Spiel *Minecraft* kein inhärentes Ziel. Dies macht die Vorbereitung der Intervention schwieriger. Dafür wird es aber möglich, grob vereinfachte räumliche oder gegenständliche Modelle digital unkompliziert nachzubilden und mit diesen spielerisch zu interagieren. Auch die Spielmechaniken sind zu berücksichtigen: Aufgrund der niedrigen Einstiegshürde und des geringen Stressniveaus eignet sich beispielsweise das kooperative Brettspiel *Dorfromantik* (in dem Spielende gemeinsam eine Landschaft aufbauen und Aufträge bearbeiten) insbesondere für Teams in frühen Formierungs- bzw. Findungsphasen. Die weitgehend vollständige Informationssymmetrie unterstützt dabei die Herstellung eines geteilten Situationsverständnisses und erleichtert die Abstimmung gemeinsamer Vorgehensweisen. Zugleich reduziert der vergleichsweise „casual-“Spielcharakter das Konfliktpotenzial, kann aber daher für langfristig formierte und integrierte Teams trivial wirken. Für tiefergehende Interventionen, beispielsweise bei länger bestehenden Teams, eignen sich hingegen eher Spiele mit großer Informationsasymmetrie, da die gemeinsame Entschlüsselung und Integration dieser Informationspuzzle ein zentraler Bestandteil von Teamresilienz darstellt (Toups Dugas et al. 2011).

Das digitale Spiel *Overcooked* (in welchem die Spieler in Restaurantküchen Mahlzeiten kochen, aufräumen und den Abwasch machen) arbeitet mit den Elementen der unspezifischen Rollenallokation und großem Zeitdruck. Insbesondere das Element der begrenzten Zeit (welcher auch beim Spiel *Keep Talking and Nobody Explodes* eine wichtige Rolle spielt) kann Auswirkungen auf die Teamresilienz haben: Auf der einen Seite können fehlende zeitliche Ressourcen dazu führen, dass die Kommunikation der Teammitglieder geringer ausfällt, wodurch Lerneffekte verkleinert werden (Avoyan et al. 2025). Auf der anderen Seite kann zeitlicher Stress (bei intrinsischer Motivation der Teammitglieder) zu mehr Kreativität führen (Roskes 2015), und so die Improvisation (als wichtiger Stützpfeiler der Teamresilienz) verbessern (Suarez & Montes 2020).

Zentral für die Nutzung von auf Selbstweck ausgelegten Spielen, die primär der Unterhaltung dienen, ist die Berücksichtigung der Zieldimensionen oder möglicher Lernziele bei der Bewertungstaxonomie. Anders als Planspiele sind sie üblicherweise nicht auf Lernen ausgelegt, können aber durch andere Mechaniken und Designelemente motivierender wirken und weißen somit einen erheblich höheren

[13] Damit können die Spiele als *Microgames* bezeichnet werden. Microgames sind kurzweilige Spiele, welche das Lernen unterstützen und in vorhandene Ressourcen integriert werden können (Rahmadi et al. 2021).

Wiederspielwert auf. Daher sind sie auch für wiederholende Trainings besonders geeignet. Die Bewertung der Spiele muss vor dem praktischen Einsatz zu Trainingszwecken allerdings durch Erprobungen validiert und durch didaktische Einbettungen begleitet werden.

Egal welches Spiel als Grundlage für die Intervention ausgewählt wird, immer gilt: Neben dem Abklären der Spielebene sowie möglicher Regeln ist insbesondere das *Debriefing* von Bedeutung. So kann das Geschehen nach dem (verkürzten[14]) Schema (1) *Beobachtung* (Was ist wann und wo passiert?), (2) *Analyse* (Was war hilfreich, welche Verhaltensweisen haben zum Ziel geführt?) und (3) *Transfer* (Wie können wir dies in unseren Alltag integrieren?) aufbereitet und in zukünftige, reale Kontexte übertragen werden (Zinns et al. 2020). Verhindert werden sollte dabei, dass diese Reflexionen individuell (beispielsweise schriftlich) erfolgen: Durch die Beobachtung und Erklärung von erfolgreichen Verhaltensweisen wird die Resilienz auf diversen Ebenen positiv beeinflusst, indem das ganze Team sowie einzelne Gruppenmitglieder von C*rossover-Effekten* profitieren*,* wobei neben den Verhaltensweisen auch als resilient geltende Kognitionen und Affekte auf die Gruppenmitglieder übertragen werden (Stoverink et al. 2020).

4. Literatur

Alliger GM, Cerasoli CP, Tannenbaum SI, Vessey WB (2015) Team resilience. Organizational Dynamics, 44(3): 176–184.

Arnab S, Clarke S (2017) Towards a trans-disciplinary methodology for a game-based intervention development process. British Journal of Educational Technology 48(2): 279–312.

Avoyan A, He H, Lu K (2025) Team work under time constraints. Journal of Economic Behavior & Organization, 237.

Bernal CM, Lempiälä, T (2025) ‘Press Start’ on Collaboration: Game-Based Practices for Fostering Innovative Collaboration in Online Contexts. Creativity and Innovation Management 34(3): 528–540.

Blaney L, Fell R, Pollard E, Agyekum E, Slonowsky D (2024) Firefighter Edge: Game-based resilience education for firefighters. WorkSafeBC - Innovation at Work (RS2021-IG07). Brouwer R (2016) When competition is the loser: The indirect effect of intra-team competition on team performance through task complexity, team conflict and psychological safety. In: 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences, 1348-1357. IEEE.

Epstein DS, Zemsk A, Enticott J, Barton C (2021) Tabletop Board Game Elements and Gamification Interventions for Health Behavior Change: Realist Review and Proposal of a Game Design Framework. JMIR Serious Games, 9(1), e23302.Fenton-O’Creevy M, Adam M, Clough G, Conole G, Gaved M, Lins J, Lindley CA, Peffer G, Scanlon E, Smidts A (2015) A game based approach to improve traders’ decision-making. Proceedings of the International Gamification for Business Conference 2015: Strategic Industrial Applications of Games and Gamification.

Galbusera L, Cardarilli M, Lara MG, Giannopoulos G (2022) Game-based training in critical infrastructure protection and resilience. International Journal of Disaster Risk Reduction 78.

Gomes JO, Borges MRS, Huber GJ, Carvalho PVR (2014) Analysis of the resilience of team performance during a nuclear emergency response exercise. Applied Ergonomics 45(3): 780–788.

Hartwig A, Clarke S, Johnson S, Willis S (2020) Workplace team resilience: A systematic review and conceptual development. Organizational Psychology Review 10(3–4)

Jacob A, Faatz A, Knüppe L, Teuteberg F (2022) The Impact of Gamification on Macro- and Micro-level Social structures - The Case of an Industrial Organization. International Journal of Human–Computer Interaction 38(7): 614–630.

Kozlowski SWJ, Bell BS (2003) Work Groups and Teams in Organizations. In: IB Weiner (Hrsg.), Handbook of Psychology. 1. Aufl.: 333–375. Wiley.

McEwen K, Boyd CM (2018) A Measure of Team Resilience: Developing the Resilience at Work Team Scale. Journal of Occupational & Environmental Medicine 60(3): 258–272.

[14] Für das detaillierte Framework zum Debriefing siehe Zinns et al. (2020).

Maresch I, Kampman H (2023) Playing for Resilience in a Pandemic; Exploring the Role of an Online Board Game in Recognising Resources. International Journal of Applied Positive Psychology 8(S1): 45–77.
Morschheuser B, Hamari J (2019) The Gamification of Work: Lessons From Crowdsourcing. Journal of Management Inquiry 28(2): 145–148.
Parker H, Du Plooy E (2021) Team-based games: Catalysts for developing psychological safety, learning and performance. Journal of Business Research 125: 45–51.
Rajeev PN, Kalpathi S (2016) Let's Play: The Use of Improv Games in Change Management Training: A Case Study. Industry and Higher Education 30(2): 149–154.
Rahmadi F, Lavicza Z, Houghton T (2021) Defining microgames in education context. International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET) 16(22): 4-16.
Raybourn EM (2007) Applying simulation experience design methods to creating serious game-based adaptive training systems. Interacting with Computers 19(2): 206–214.
Roskes M (2015) Constraints that Help or Hinder Creative Performance: A Motivational Approach. Creativity and Innovation Management 24(2): 197–206.Schijven MP, Kikkawa T (2023) Improving resilience through gaming. Simulation & Gaming 54(5): 475–476.
Stettina CJ, Offerman T, De Mooij B, Sidhu I (2018) Gaming for Agility: Using Serious Games to Enable Agile Project & Portfolio Management Capabilities in Practice. 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), 1–9.
Stoverink AC, Kirkman BL, Mistry S, Rosen B (2020) Bouncing Back Together: Toward a Theoretical Model of Work Team Resilience. Academy of Management Review, 45(2): 395–422.
Suarez, FF, Montes, JS (2020) Building organizational resilience. Harvard Business Review, 98(6): 47–52.
Toups Dugas P, Kerne A, Hamilton WA (2011) The Team Coordination Game: Zero-fidelity simulation abstracted from fire emergency response practice. ACM Transactions on Computer-Human Interaction 18(4): 1–37
Van Peppen L, Faber TJE, Erasmus V, Dankbaar, MEW (2022) Teamwork Training With a Multiplayer Game in Health Care: Content Analysis of the Teamwork Principles Applied. JMIR Serious Games 10(4)
Wybo JL (2008) The role of simulation exercises in the assessment of robustness and resilience of private or public organizations. In Resilience of Cities to Terrorist and other Threats: Learning from 9/11 and further Research Issues. Dordrecht: Springer Netherlands, 491-507.
Zinns LE, Mullan PC, O'Connell KJ, Ryan LM, Wratney AT (2020) An Evaluation of a New Debriefing Framework: REFLECT. Pediatric Emergency Care, 36(3): 147–152.

Danksagung: Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung und dem ESF Plus unter dem Förderkennzeichen 02L24C082 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Resilienzsteigerung in Unternehmen durch Sensemaking: Das Verbundprojekt SENSILIENZ

Judith SCHÖNER, Fabian NOWOTNY, Michael DICK

Lehrstuhl für Betriebspädagogik, Institut I: Bildung, Beruf und Medien
Otto-von-Guericke-Universität (OVGU) Magdeburg
Universitätsplatz 2, D-39106 Magdeburg

Kurzfassung: Der Beitrag stellt das dreijährige Verbundprojekt SENSILIENZ vor. VUCA stellt auch KMU vor Herausforderungen. In vier Partnerunternehmen soll die Resilienz durch die Explikation und Aktivierung von Unternehmenskultur gesteigert werden. Mithilfe neu- bzw. weiterentwickelter Methoden des Sensemaking in Personal- und Organisationsentwicklung werden gleichzeitig die Ebenen Individuum, Team und Gesamtorganisation in den Unternehmen angesprochen. Die Evaluation des Ansatzes erfolgt kontinuierlich mithilfe eines Mixed-Methods-Designs. Der im Ergebnis entstandene Maßnahmenkatalog wird mittels Transferpartnern zur Verwertung in der Praxis kommuniziert.

Schlüsselwörter: Resilienz, Sensemaking, Unternehmenskultur, Personalentwicklung, Organisationsentwicklung

1. Motivation und Bedarf

Volatilität, Ungewissheit, Komplexität, Ambiguität (VUCA) ist auch in mittelständischen Unternehmen spürbar. Resiliente Wertschöpfungsstrategien befähigen Unternehmen dazu, Herausforderungen wie VUCA zu bewältigen (Joussen et al. 2025). Das Forschungsprojekt SENSILIENZ entwickelt und erprobt Prozesse und Methoden, die Unternehmen selbstständig einsetzen können, um Menschen, Teams und die Organisation zu stärken. Vier am Forschungsprojekt beteiligte KMU aus Niedersachsen und Sachsen-Anhalt stehen exemplarisch für Herausforderungen durch schwindende Märkte, komplexe Lieferketten und technologischen Wandel, verbunden mit einem Wertewandel der Arbeitnehmerschaft, Fachkräftemangel und Generationswechsel in den Geschäftsführungen. Wertschöpfungsprozesse sind bedroht, weil sich Märkte verändern oder wegbrechen, internationale Absatzketten gesichert und Produktionsprozesse technologisch weiterentwickelt werden müssen. Fachkräftemangel und Fluktuation verschärfen sich, und die Unternehmenskultur verändert sich durch hybride Arbeit und Führung auf Distanz.

Trotzdem verfügen KMU häufig über eine stark ausgeprägte, bewusst gelebte und bindende Unternehmenskultur (Simon 2002; Roppel 2014; Nützi 2024) sowie eine hohe strategische Flexibilität (Deimel 2008; Lindner 2019). Hier liegen erhebliche Ressourcen für deren Widerstandskraft. Diese Ressourcen entwickeln sich im Wesentlichen informell, sie sind bislang systematisch wenig untersucht und in der Praxis entwickelt worden. Das Projekt SENSILIENZ adressiert daher Unternehmenskultur als Reservoire und Bedingung für organisationale Resilienz. Dabei wird Resilienz als die Fähigkeit verstanden, ungewisse, dynamische und widersprüchliche Entwicklungen auf den drei Ebenen (Individuum, Team, Organisation) zu antizipieren, sich darauf einzustellen und Coping-Strategien abzuleiten. Im Hinblick auf Unternehmenskultur liegt

bisher kein methodisch abgesichertes Vorgehen zur Explikation und anschließenden Aktivierung derselbigen vor. Unternehmenskultur wird daher im Projekt erstmals systematisch als Bedingung zur Bewältigung von Risiken und kritischen Ereignissen erschlossen.

2. Ziele des Projekts

Ziel des Projektes ist die nachhaltige Aktivierung und strukturelle Verankerung individueller, sozialer und kultureller Ressourcen in den beteiligten Unternehmen. Hierfür durchlaufen die Unternehmen Prozesse der Personal- und Organisationsentwicklung, welche Resilienz als unternehmenskulturelle Ressource identifizieren sowie explizieren und nachfolgend aufbauen bzw. stärken. Dabei werden die Ebenen Individuum, Team und Organisation gleichermaßen adressiert (Schulte et al. 2016), was zur Entwicklung eines neuen methodischen Ansatzes führt. Dieser Ansatz speist sich u.a. aus erprobten Methoden einer kultur- und biografiesensiblen Personalentwicklung / Betrieblichen, Bildung kombiniert zu einem Mehrebenen-Ansatz des Sensemaking (s.u.). Die Evaluation dieses Ansatzes erfolgt mit einer längsschnittlichen Datenerhebung zu Resilienz, Unternehmenskultur und Teamarbeit sowie der qualitativen Beurteilung aller durchgeführten Maßnahmen. Auf Grundlage des erfolgreich erprobten Ansatzes soll letztendlich ein Maßnahmenkatalog zur Resilienzsteigerung in Organisationen entstehen.

3. Theoretische Rahmung

Resilienz wird in verschiedenen empirischen Disziplinen erforscht. Die Arbeitswissenschaft richtet den Blick auf Arbeitsbedingungen, die Organisationspsychologie erforscht Führungsbeziehungen und Teamfaktoren und die Gesundheitswissenschaften betrachten die physische und psychische Verfassung des Individuums. Raetze et al. (2021) unterscheiden drei Aspekte von Resilienz: als Ergebnis, die Funktionsfähigkeit wiederzuerlangen, als Prozess mit wirksamen Mechanismen und als Ressource, die strategisch aufgebaut und gefördert werden kann. Diese Mechanismen und Ressourcen lassen sich auf den drei Ebenen des Individuums, des Teams und der Organisation betrachten (Raetze et al. 2021; Schulte et al. 2016; Soucek et al. 2016).

Genau wie Resilienz beginnt *Sensemaking* mit disruptiven Ereignissen (Zellars et al. 2011), bezieht sich auf die „fortlaufende retrospektive Entwicklung plausibler Bilder, die rationalisieren, was Menschen tun“ (Weick et al. 2005, S. 409) und erfordert mit Blick auf Sinnstiftungsprozesse:

- Versuche, die Gründe für die Störung zu verstehen,
- Handlungen und
- einen fortlaufenden Prozess, durch den Einzelpersonen oder Organisationen versuchen, die Umstände (und Ereignisse), in denen sie sich kollektiv oder individuell befinden, zu verstehen und zu bestimmen, wie die Situationen sie beeinflussen (Weick 2001, Weick et al. 2005, Schwandt 2005, Zellars et al. 2011).

Das Konzept des Sensemaking ist durch folgende Merkmale definiert (Weick 1995, Weick 2001, Weick et al. 2005):

Subjektivität: Verschiedene Menschen in Organisationen können dieselbe Situation unterschiedlich interpretieren und dadurch unterschiedliche Konnotationskontexte herleiten.

Kontextualität: Deutungs- und Sinnstiftungsprozesse sind eng mit der Umwelt verflochten, in der sie stattfinden, mit den Anforderungen, dem verfügbaren Wissen, Erfahrungen und sozialen Rahmenbedingungen.

Iteration: Menschen beziehen stets neue Informationen und Erfahrungen in ihre Überlegungen ein, was zu einer kontinuierlichen Anpassung ihrer Deutungen führt.

Narration: Menschen nutzen Erzählungen und Geschichten, um Sinn zu schaffen. Narrative helfen, die Interpretation von Erfahrungen zu strukturieren und verständlich zu machen.

Adaptation: Sensemaking hilft Individuen und Organisationen, sich in komplexen und nicht vorhersehbaren Umgebungen zurechtzufinden.

Unternehmenskultur ist somit Ergebnis und Bedingung für Sensmaking-Prozesse und eine zentrale Ressource für Organisationen für die Interaktion mit deren Umwelt.

4. Projektpartner

SENSILIENZ ist angelegt als Verbundprojekt zwischen zwei Universitäten und vier Wirtschaftsunternehmen. Zusätzlich konnten Transferpartner zur Multiplikation der Ergebnisse in die betriebliche Praxis gewonnen werden.

Die beiden Universitäten Magdeburg und Osnabrück sind mit jeweils einer Professur involviert und vereinen interdisziplinär arbeitswissenschaftliche, organisationspsychologische und berufspädagogische Expertise. Die projektkoordinierende *Professur für Betriebspädagogik der Universität Magdeburg* (Prof. Dr. Michael Dick) ist auf Methoden des Wissenstransfers in Organisationen fokussiert, während die *Juniorprofessur für Berufs- und Wirtschaftspädagogik mit dem Schwerpunkt berufliche Aus- und Weiterbildung im digitalen Wandel der Universität Osnabrück* (JProf. Dr. Dana Bergman) für subjektbezogene und biografiesensible Methoden ausgewiesen ist.

Die vier beteiligten Wirtschaftsunternehmen verfügen über ihre jeweils spezifische Expertise, die sich jedoch nicht auf die Personal- und Organisationsentwicklung bzw. unternehmenskulturelle Veränderungsprozesse bezieht.

Humanas ist ein familiengeführter Pflegedienstleister mit mehreren altersgerechten Wohnparks, in denen Wohnen und Pflege kombiniert werden. Die Expertise liegt in der Pflege und im zufriedenen, selbstbestimmten Leben im Alter.

Implantcast ist ein expandierender Hersteller hochwertiger Endoprothesen, dessen Expertise in der Entwicklung, Produktion und im weltweiten Vertrieb von Endoprothesen (inkl. technischem Know-how und der für die OPs notwendigen Instrumente) liegt.

NetCo ist ein kleines Unternehmen mit technischer Expertise im Bereich individueller Kamera- und Softwarelösungen, Baustellenkameras und industrieller Computertomographie.

Paus Maschinenfabrik ist ingenieurstechnisch ausgerichtet und entwickelt und produziert Fahrzeuge und Maschinen für besondere Aufgabenstellungen in Industrie und Gewerbe.

Eine systematische Bearbeitung der im Projekt SENSILIENZ adressierten Fragen ist für KMU im normalen Alltagsgeschäft unmöglich zu realisieren. Die unternehmenskulturellen Ressourcen erfordern eine besondere Aufmerksamkeit, die im Alltag nicht aufgebracht werden kann. Zudem bedarf es einer externen Perspektive, um die unternehmenskulturellen Eigenheiten und blinden Flecken zu erkennen und zu entschlüsseln. Das Projekt schafft Raum, Zeit und Personalressourcen um diese Aspekte gezielt, kontrolliert in den Blick zu nehmen und zu entwickeln.

Die Transferpartner werden insbesondere über den Beirat im Projekt beteiligt. Mithilfe des Beirats sollen die Potenziale und Risiken der im Projekt entwickelten Lösungen und Methoden abgeschätzt werden.

HWK Magdeburg, IG Metall, IHK Magdeburg und *IHK Osnabrück/Emsland/Grafschaft Bentheim* werden als Verbände und Interessensvertretungen mit guter Anbindung an die lokale Unternehmenslandschaft für die Verwertung der Projektergebnisse eingebunden. So kann der zu erstellende Maßnahmenkatalog aus dem Projekt über die Transferpartner verteilt werden und von weiteren KMU in der Praxis genutzt werden. Weiterhin ist geplant die Verbände durch das Angebot von Fortbildungen in das Projekt zu integrieren.

Narrata Consult, osb international, Otto-Future-Hub, The Face Space Mediation sind als Beratungsunternehmen für die Professionalisierung des Beratungsansatzes, die Verwertung des Beratungsansatzes und Fortbildungen eingebunden.

Nicht zuletzt ist mit der *GesundheitsAkademie Magdeburg* ein Transferpartner gewonnen, der die Projektergebnisse im Kontext von Gesundheitsförderung in der Arbeit in die lokale Wirtschaft und Wirtschaftspolitik vermittelt.

5. Projektablauf

Das Projekt ist über eine Laufzeit von drei Jahren gefördert (s.u.) und gliedert sich den Jahren entsprechend grob in drei Phasen, die kontinuierlich evaluiert werden:

In der ersten Phase der Diagnose wird die Unternehmenskultur der KMU mithilfe ethnografischer Forschungsmethoden erfasst und expliziert, um Ressourcen zu identifizieren. Auf Grundlage dieser Analyse gilt es anschließend Maßnahmen der Personal- und Organisationsentwicklung auszuwählen, welche Sensemaking-Prozesse auf den Ebenen Individuum, Team und Gesamtorganisation in den Unternehmen unterstützen sollen.

Diese intervenierenden Maßnahmen werden in der zweiten Phase zusammen mit den Projektpartnern geplant und von geschulten Trainer:innen durchgeführt, reflektiert und dokumentiert. Es handelt sich bei den Maßnahmen um neu- oder weiterentwickelte Ansätze, die über die drei genannten Ebenen hinweg wirken und sich u.a. aus folgenden Methoden speisen: narrativen und biografischen Methoden auf individueller Ebene (Alheit & Hoerning 1989; Kade & Seitter 1996; Bergmann et al. 2023), in Prozessen des Wissenstransfers, etwa durch Triadengespräche, und der Teamentwicklung (Dick et al. 2010; Dick & Wehner 2018; Kauffeld et al. 2009) sowie im Storytelling als Beitrag zur Reflexion von Unternehmenskultur (Brown 2005; Chlopzyk 2017). In jedem Unternehmen sind mindestens vier solcher Interventionen vorgesehen. Der Zyklus aus Diagnose, Intervention und Evaluation kann mehrfach je Unternehmen durchlaufen werden.

Die dritte Phase dient den Unternehmen zur Verstetigung der eingesetzten Methoden in die eigene Praxis, wobei vorhandene Infrastruktur genutzt werden soll. Die Universitäten nutzen die dritte Phase für die Kommunikation der Ergebnisse mithilfe von Transferpartnern in weitere Unternehmen (vgl. 4. Projektpartner).

6. Verwertung der Ergebnisse

Als Projektergebnisse werden Erkenntnisse zu Prozesseigenschaften bei der Herausbildung von Unternehmenskultur und Resilienz, Hinweise auf die wechselseitige

Beeinflussung der Ebenen Individuum – Team – Organisation und damit eine veränderte Sichtweise auf Kompetenzentwicklung als organisationalen, statt individuellen Prozess entstehen. Die erwarteten Projektergebnisse werden in Handlungsempfehlungen in einem Maßnahmenkatalog überführt, die Impulse für Wissenschaft und betriebliche Praxis geben, sodass der Transfer- und Verwertungsgedanke in beide Richtungen aufgegriffen wird.

Die breit angelegte Transferphase ermöglicht es, die gewonnenen Ergebnisse auch für nicht im Projekt beteiligte Unternehmen zur Verfügung zu stellen. So ist beabsichtigt, Weiterbildungen zum Sensemaking in der Organisations- und Personalentwicklung berufsbegleitend für Fach- und Führungskräfte und inhouse für Unternehmen anzubieten. Die Ergebnisse werden somit zielgruppengerecht aufbereitet und systematisch nach außen getragen. Zur Veröffentlichung wird weitestgehend auf Open-Access-Formate zurückgegriffen, um dem interessierten Personenkreis einen freien Zugang zu den Ergebnissen zu ermöglichen.

Im Rahmen des Konzeptes zur Wissenschaftskommunikation werden folgende Formate genutzt: 1. Texte (Artikel in Zeitungen und Magazinen, bspw. dem IHK-Magazin; LinkedIn-Posts, Broschüren, Einträge und Verlinkungen auf Websites), 2. Visuelle Medien (kurze Projektvideos für den YouTube-Kanal InnoPulsLab, Infografiken, Podcasts, Präsentationen), 3. Interaktive Formate (Workshops, Vorträge bei den Transferpartnern) sowie 4. die Pressestellen der Universitäten und – sofern vorhanden – die Pressestellen der Unternehmen.

7. Literatur

Alheit, P. & Hoerning, E. (1989). Biographie und Erfahrung. Eine Einleitung. In P. Alheit & E. Hoerning (Hrsg.), Biographisches Wissen. Beiträge zu einer Theorie lebensgeschichtlicher Erfahrung (S. 8–23). Campus.

Bergmann, D., Frosch, U. & Dick, M. (2023). Biografische Arbeit als Bestandteil Betrieblicher Bildung. bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online(45), 1–20. https://www.bwpat.de/ausgabe/45/bergmann-etal

Brown, J. S. (2005). Storytelling in organizations: why storytelling is transforming 21st century organizations and management. Elsevier Butterworth-Heinemann.

Chlopczyk, J. (Hrsg.). (2017). Beyond Storytelling: Narrative Ansätze und die Arbeit mit Geschichten in Organisationen. Springer Gabler.

Deimel, K. (2008). Stand der strategischen Planung in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) in der BRD. Zeitschrift für Planung & Unternehmenssteuerung, 19(3), 281–298. https://doi.org/10.1007/s00187-008-0061-4

Dick, M., Braun, M., Eggers, I. & Hildebrandt, N. (2010). Wissenstransfer per Triadengespräch: Eine Methode für Praktiker. zfo - Zeitschrift Führung + Organisation, 79(6), 367–375.

Dick, M. & Wehner, T. (2018). Wissensmanagement. In F. Rauner & P. Grollmann (Hrsg.), Handbuch Berufsbildungsforschung (3. aktualisierte und erweiterte Auflage, S. 870–878). wbv, utb.

Joussen, T. P., Kanbach, D. K., & Kraus, S. (2025). Enabling strategic change toward resilience: a systematic review from a dynamic capabilities perspective. Strategic change, 34(3), 373-405.

Lindner, D. (2019). KMU im digitalen Wandel: Ergebnisse empirischer Studien zu Arbeit, Führung und Organisation. essentials. Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-24399-9

Nützi, R. (2024). Wo wir gerne arbeiten: Starke Unternehmenskultur - Erfolgreiche KMU (1st ed.). Versus Verlag AG.

Kauffeld, S., Tiscar-Lorenzo, G., Montasem, K. & Lehmann-Willenbrock, N. (2009). act4teams®: die nächste Generation der Teamentwicklung. In S. Kauffeld, S. Grote & E. Frieling (Hrsg.), Handbuch Kompetenzmessung (S. 191–215). Schäffer-Poeschel.

Roppel, K. (2014). Unternehmenskultur macht den Unterschied–KMU und Konzerne im Vergleich. Die Wirtschaftsmediation (2), 36–39.

Simon, F. B. (2002). Die Familie des Familienunternehmens: ein System zwischen Gefühl und Geschäft. Carl-Auer-Systeme-Verl.

Weick, K. E. (1995). Sensemaking in Organizations. Sage.

Weick, K. E. (2001): Making Sense of the Organization. Blackwell Publishing.
Weick, K. E., Sutcliffe, K. M. & Obstfeld, D. (2005). Organizing and the Process of Sensemaking. Organization Science, 16(4), 409–421. https://doi.org/10.1287/orsc.1050.0133
Raetze, S., Duchek, S., Maynard, M. T. & Kirkman, B. L. (2021). Resilience in Organizations: An Integrative Multilevel Review and Editorial Introduction. Group & Organization Management, 46(4), 607–656. https://doi.org/10.1177/10596011211032129
Schulte, E.-M., Gessnitzer, S. & Kauffeld, S. (2016). Ich – wir – meine Organisation werden das überstehen! Der Fragebogen zur individuellen, Team- und organisationalen Resilienz (FITOR). Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO), 47(2), 139–149. https://doi.org/10.1007/s11612-016-0321-y
Soucek, R., Ziegler, M., Schlett, C. & Pauls, N. (2016). Resilienz im Arbeitsleben – Eine inhaltliche Differenzierung von Resilienz auf den Ebenen von Individuen, Teams und Organisationen. Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO), 47(2), 131–137. https://doi.org/10.1007/s11612-016-0314-x
Zellars, K. L., Justice, L.; Beck, T.E. (2011). Resilience: New paths for building and sustaining individual and organizational capacity. The Role of Individual Differences in Occupational Stress and Well Being (S. 1-37). Emerald Publishing Limited.
Schwandt, D. R. (2005). When Managers Become Philosophers: Integrating Learning With Sensemaking. Academy of Management Learning & Education, 4(2), 176–192. https://doi.org/10.5465/amle.2005.17268565

Förderhinweis: Dieses Projekt wird im Rahmen des Programms „Zukunft der Arbeit“ durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) und die Europäische Union über den Europäischen Sozialfonds Plus (ESF Plus) gefördert (Förderkennzeichen 02L24C120, Laufzeit 01/2026 bis 12/2028) und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor:innen.

A primary study of sleep deprivation on push and pull force for young adults

Shin-Min HUNG, Chao-Yin WU, Chia-Hung SU, Ying-Hao JIANG, Min-Chi CHIU
Department of Industrial Management, National Chin Yi University of Technology
57, Sec. 2, Zhongshan Rd., Taiping District, Taichung 41170, Taiwan, ROC

Abstract: Quality sleep is essential for maintaining both physical and mental health. According to a 2020 report by the National Health Research Institutes (NHRI) in Taiwan, nearly 23.3% of Taiwanese individuals experience difficulty falling asleep at night. This issue is even more pronounced among young adults, largely due to the increasing reliance on smartphones, tablets, and other electronic devices, which often delay sleep onset. The resulting sleep deprivation can lead to insufficient rest and poor sleep quality. Therefore, this study aims to investigate the effects of sleep duration on pushing and pulling performance in young adults. Fifteen participants (9 men and 6 women) were recruited and randomly assigned to undergo two consecutive nights of normal sleep (8 hours) and two consecutive nights of partial sleep deprivation (6 hours). A complete experimental design was employed. Following each sleep condition, participants' push and pull forces were measured using a force meter, assessing performance across various application heights and hand positions.
Results showed that under partial sleep deprivation, pushing force decreased to 79.06% of the force observed in the well-rested condition ($p = 0.001$), while pulling force dropped to 86.46% ($p = 0.003$). At a significance level of $\alpha = 0.05$, both sleep conditions significantly influenced pushing and pulling performance. Notably, partial sleep deprivation had a more pronounced impact on pushing force compared to pulling force.

Keywords: sleep deprivation, push-pull force, physical performance

1. Introduction

Quality sleep is a fundamental physiological process essential for maintaining overall health and well-being. Despite its critical role, modern lifestyle factors, such as occupational stress, irregular work schedules, excessive use of digital devices, and environmental disruptions, have increasingly compromised sleep quality for millions worldwide. Poor sleep quality, often marked by reduced sleep duration, frequent nighttime awakenings, and non-restorative sleep, is now widely recognized as a multifactorial risk factor contributing to numerous psychological and physical health conditions (Sneha et al., 2025).

The relationship between sleep loss and physical performance has garnered significant research interest. In a comprehensive systematic and meta-analytical review, Craven et al. (2022) analyzed 227 outcome measures from 69 studies, concluding that acute sleep deprivation adversely affects next-day exercise performance. The extent and significance of these effects vary depending on the specific sleep-loss protocol employed, with both total sleep deprivation and late sleep

restriction (i.e., waking earlier than usual) consistently associated with diminished physical performance.

Diurnal rhythms significantly influence human performance, particularly in short-duration, high-intensity activities. Romdhani et al. (2018) investigated the effects of total sleep deprivation and subsequent recovery sleep on repeated-agility performance. Their findings revealed that sleep loss and recovery sleep affected men andwomen participants differently throughout the day. Notably, sleep extension following deprivation demonstrated a restorative effect, withwomen participants potentially benefiting more than mens. Easow et al. (2025) reviewed current evidence on the impact of sleep deprivation (SD) on strength performance and found that both acute and chronic SD significantly reduce measures of muscle strength, power output, and muscular endurance. Additionally, sleep-deprived individuals commonly exhibit impaired neuromuscular function and increased fatigue.

Push and pull actions are fundamental in many occupational settings, particularly in industries such as manual handling, logistics, healthcare, and equipment operation. These roles often involve shift work, which can lead to partial sleep deprivation. As a result, workers may experience reduced physical performance, heightened fatigue, and an increased risk of injury when performing tasks that require sustained force and coordination. The impact of sleep deprivation on torque-related performance metrics has also been explored. Oliveira et al. (2024) reported that after 24 hours of sleep deprivation, the regularity of torque fluctuations significantly increased, as evidenced by a decrease in sample entropy. This suggests a decline in neuromuscular control. While previous studies have provided valuable insights into the physiological consequences of sleep deprivation, its specific effects on push-pull force performance remain underexplored and warrant further investigation.

2. Methodology

2.1 Subjects

A total of 15 participants (N = 15), comprising 9 men and 6 women aged between 19 and 21 years, were recruited for this study. The average body height was 168.7 cm (SD ± 6.35), average body weight was 66.7 kg (SD ± 15.06), and the mean Body Mass Index (BMI) was 23.29 kg/m² (SD ± 4.00). All participants self-reported being free from musculoskeletal disorders, physiological or cognitive impairments, sleep disorders, and chronic illnesses. Prior to the experiment, participants were fully informed of the study procedures and provided written informed consent. The experimental protocol adhered to the ethical principles outlined in the Declaration of Helsinki and was approved by the Institutional Review Board (IRB) of Chao Yang University of Technology, Taiwan.

2.2 Instruments

2.2.1 Sleep Monitor

The ActiGraph wGT3X-BT (see Fig. 2.1) is a wearable device commonly used in research to monitor physical activity and sleep patterns. It features a built-in triaxial accelerometer that records body movement and positional data. The device operates in conjunction with ActiLife software, which facilitates device initialization, data

download, and advanced data analysis. Through this system, researchers can assess posture, activity-related energy expenditure, estimated calorie consumption, and metabolic rate. Body postures such as standing, sitting, and lying down can be accurately identified.

By marking the times of bed entry and exit, the device enables the collection of various sleep parameters, including Total Sleep Time (TST), Time in Bed (TIB), Sleep Onset Latency, Sleep Efficiency (SE, calculated as TST/TIB), and Wake After Sleep Onset (WASO). These metrics provide a comprehensive overview of sleep quality and duration, making the ActiGraph wGT3X-BT a valuable tool in sleep research.

Figure 2.1: *ActiGraph Sleep Monitor.*

2.2.2 Hardware and software of push -pull force measurement

The push-pull force measurement device used in this study was developed by the Institute of Labor, Occupational Safety and Health, Council of Labor Affairs, Executive Yuan of Taiwan (Liu & Du, 2017), as illustrated in Figure 2.2. The apparatus comprises two primary components: the measuring mechanism and the force detection system. The vertical column features sliding bushings that allow for adjustable handle height settings, with fixed measurement points at 40 cm, 80 cm, 120 cm, and 160 cm. A 2 mm steel cable connects the force handle to the load cell (LUR-A-2KNSA1, KYOWA, Japan), enabling accurate force transmission.

Figure 2.2: *Push-pull apparatus.*

The measurement base consists of a composite flat surface lined with diamond sand anti-slip strips, providing a friction coefficient greater than 0.5 to ensure stability during testing. Participants stand on this base during push-pull force assessments, while a camera records foot movements to monitor posture and technique.

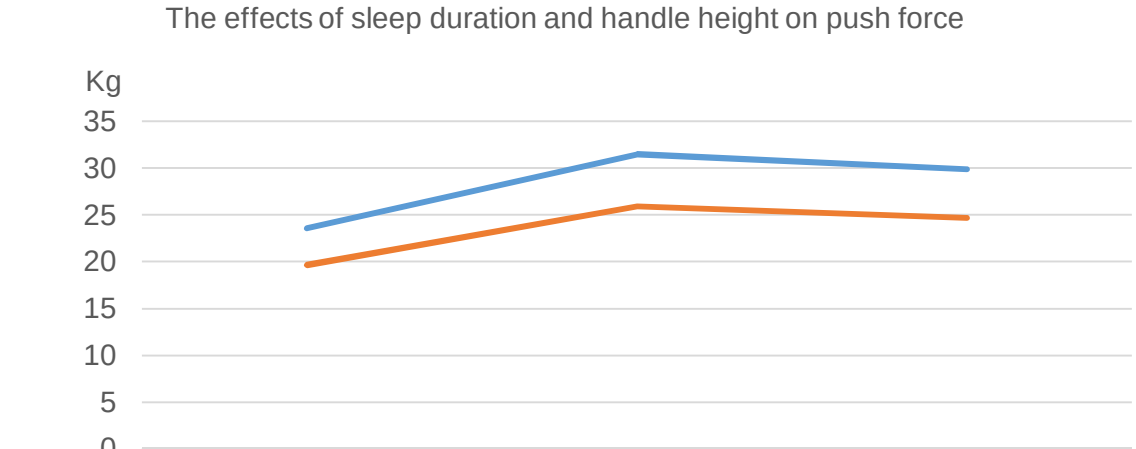
The force detection system includes a load cell, signal amplifier, analog-to-digital

(A/D) converter (NI-9237, National Instruments, USA), and a signal processor. The load cell has a maximum force capacity of approximately 2,000 Newtons (equivalent to around 200 kilograms). When force is applied via the handle, the steel cable activates the load cell, which converts the mechanical input into digital signals. These signals are transmitted to the LTForceMeter software for analysis, enabling precise quantification of push and pull forces.

3. Results

3.1 The effect of sleep deprivation on push-pull force

The results of the study indicate that two consecutive days of partial sleep deprivation (a 25% reduction from the normal 8-hour sleep duration to 6 hours per night) significantly impacted push and pull force performance, as Figure 3.1 and Figure 3.2. These findings are consistent with the research hypothesis that partial sleep deprivation would lead to a decline in push-pull force performance. In terms of pushing force, men participants experienced a 20.47% decrease,women participants a 22.11% decrease, and the overall average decrease was 20.94%. For pulling force, men participants showed a 13.43% reduction,womens 13.84%, and the overall average decrease was 13.54%. These results suggest that partial sleep deprivation negatively affects human force output performance. Furthermore, it was observed that the impact of partial sleep deprivation on pushing force (20.94%) was greater than its impact on pulling force (13.54%).



	40	80	120
8 hrs	23,57	31,49	29,87
6 hrs	19,66	25,93	24,72

Figure 3.1: *The effects of sleep deprivation and handle heights on push force.*

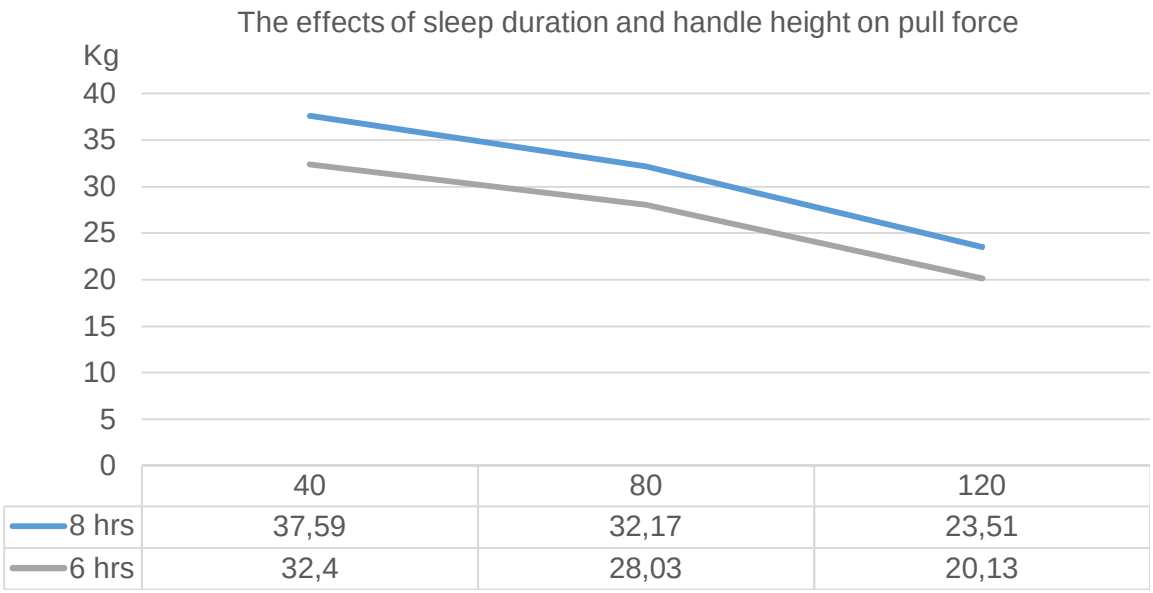


Figure 3.2: *The effects of sleep deprivation and handle heights on pull force.*

3.2 The effect of force application conditions on push-pull force output

The results of this study indicate that two consecutive days of partial sleep deprivation (a 25% reduction from the normal 8-hour sleep duration to 6 hours per night) significantly affected push and pull force performance. This outcome aligns with the research hypothesis that partial sleep deprivation would lead to a decline in push-pull force output.

For pushing force, after partial sleep deprivation, men participants showed a 20.47% decrease,women participants a 22.11% decrease, and the overall average decrease was 20.94%. For pulling force, men participants experienced a 13.43% reduction,womens 13.84%, and the overall average decrease was 13.54%. These results suggest that partial sleep deprivation impairs physical force output, with a more pronounced effect on pushing force (20.94%) compared to pulling force (13.54%).
Regardless of sleep condition, the height of force application influenced push-pull performance. For pushing force, the highest output was observed at a height of 80 cm, followed by 120 cm and 40 cm (21.5 > 20.29 > 15.8 kg). The force values at 80 cm and 120 cm were similar, with no significant difference. For pulling force, the highest output occurred at 40 cm, followed by 80 cm and 120 cm (31.49 > 28.82 > 21.29 kg), showing an inverse relationship between force output and application height. Again, the force values at 40 cm and 80 cm were similar, with no significant difference.

The trends observed in this study regarding force application height and push-pull performance are consistent with the findings of Liu Li-Wen and Du Xin-Hong (2017) in the National Anthropometric Survey of Taiwanese Workers I, which involved 256 participants. The similarity in force values supports the reliability and reference value of the current study. However, the results differ from those reported by Du Pei-Chun et al. (2025) in the National Anthropometric Survey of Taiwanese Workers III, which found that pushing force was highest at 120 cm, followed by 80 cm and 40 cm (20.13 > 19.57 > 16.4 kg), while pulling force followed the same trend as the current study (40 > 80 > 120 cm; 25.93 > 24.63 > 19.6 kg).

In terms of hand posture, regardless of sleep duration and application height, pushing force varied significantly across three hand positions: both hands (25.88 kg),

right hand (16.46 kg), and left hand (15.24 kg). Post-hoc analysis revealed significant differences between both hands and each single hand, but no significant difference between left and right hands, indicating that using both hands results in significantly greater force output compared to using one hand, while left and right hand performance is similar. For pulling force, no significant differences were found among the three hand positions: both hands (28.98 kg), right hand (27.12 kg), and left hand (25.5 kg), suggesting comparable force output across all postures. Overall, the force output ranked from highest to lowest as both hands > right hand > left hand, which may be attributed to the majority of participants being right-handed. This trend is also consistent with the findings of Liu and Du (2017).

Subsequent multifactorial ANOVA revealed that the interaction effects among sleep duration, application height, and hand posture on push-pull force output were not statistically significant.

4. Conclusion

In summary, this study not only highlights the detrimental effects of sleep deprivation on push-pull force performance but also suggests practical strategies for fatigue management in various industries. Specifically, switching from pushing to pulling tasks may be a feasible approach to mitigate fatigue-related performance decline. The findings of this study can be incorporated into future work design and ergonomics planning, contributing to improved occupational safety and operational efficiency through enhanced risk assessment and task optimization.

5. References

Craven J, McCartney D, Desbrow B, Sabapathy S, Bellinger P, Roberts L, Irwin C (2022) Effects of acute sleep loss on physical performance: a systematic and meta-analytical review. Sports Med 52: 2669–2690.

Easow J, Bommasamudram T, Munnilari M, Adhikari R, Edwards B., Nayak KR, Vaishali K, Ravindrakumar A, Gallagher C, Pullinger SA (2025) Implications of sleep loss or sleep deprivation on muscle strength: a systematic review. Sleep Breath 29: 242. https://doi.org/10.1007/s11325-025-03413-0

Oliveira JH, Santos P, Pezarat-Correia P, Vaz J R (2024) Sleep deprivation increases the regularity of isometric torque fluctuations. Exp Brain Res 242: 1037-1046. https://doi.org/10.1007/s00221-024-06810-1

Romdhani M, Hammouda O, Smari K, Chaabouni Y, Mahdouani K, Driss T, Souissi N (2021) Total sleep deprivation and recovery sleep affect the diurnal variation of agility performance: The gender differences. J Strength Cond Res 35(1): 132–140.

Sneha K, Vandana D, Prafull K, Manoj G (2025) Systematic Review: The impact of poor sleep quality on psychological and physical health. J Heart Valve Dis 30 (7):79–85.

Beschäftigung und Gesundheit in der Basisarbeit – Kausalität oder Selektion?

Arthur KABOTH, Lena HÜNEFELD, Marcel LÜCK
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund

Kurzfassung: Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Gesundheit von Basisarbeitenden im Erwerbsverlauf. Spezifisch geht es dabei um die Frage, ob Basisarbeit zu einer schlechteren Gesundheit führt (Kausalperspektive) und inwiefern eine schlechte Gesundheit den Übergang in die Basisarbeit begünstigt (Selektionsperspektive). Die Ergebnisse, basierend auf dem Sozio-oekonomischen Panel, zeigen einerseits eine über den Erwerbsverlauf abnehmende subjektive Gesundheit unter den Basisarbeitenden. Andererseits werden Übergänge in die Basisarbeit auch aufgrund einer Verschlechterung der Gesundheit begünstigt. Die Identifizierung und Reduktion von Arbeitsbelastungen stellen zentrale Ansätze dar, um die Gesundheit und Arbeitsfähigkeit langfristig zu erhalten.

Schlüsselwörter: Basisarbeit, Gesundheit, Kausalität, Selektion, Fixed-Effects Regression

1. Einleitung

Der Zusammenhang zwischen Arbeit und Gesundheit wird seit Jahrzehnten in deutschen und internationalen Studien umfassend untersucht und dokumentiert (Adler & Ostrove, 1999; Blane et al., 1993; Goldman, 2001; Hoffmann et al., 2019). Erstens zeigen Studienergebnisse, dass Arbeit einen eigenständigen Einfluss auf den Gesundheitszustand von Beschäftigten hat. Dies beschreibt die kausale Richtung des Effekts. Zweitens zeigen Studien auch einen umgekehrten Effekt: Nach der Selektionshypothese wirkt sich die Gesundheit auf den Beschäftigungsstatus aus (Hoffmann et al., 2019; Kröger et al., 2015; Kröger, 2016). Für Beschäftigte, die für ihre Tätigkeit keine Qualifikationen benötigen – sogenannte Basisarbeit (Abel et al., 2009) – liefert der aktuelle Forschungsstand keine Ergebnisse zur Kausalität oder Selektion in Bezug auf den Gesundheitszustand.

Querschnittsstudien zeigen einen im Durchschnitt schlechteren Gesundheitszustand von Beschäftigten in Basisarbeit im Vergleich zu jenen in der Facharbeit, also Tätigkeiten, die eine Berufsausbildung erfordern (Rigó et al., 2021). Außerdem zeigt der aktuelle Forschungsstand, dass Beschäftigte in der Basisarbeit hohe Arbeitsanforderungen haben und ihnen wenige Arbeitsplatzressourcen zur Verfügung stehen. Ausgehend von den Befunden lautet die Fragestellung der vorliegenden Studie: Ist die Beschäftigung in Basisarbeit Auslöser oder Folge eines schlechten Gesundheitszustandes? In Anlehnung an Studien zum Thema sozioökonomischer Status und Gesundheit wird sowohl die Kausalitäts- als auch die Selektionshypothese für Beschäftigte in Basis- und Facharbeit untersucht. Die erste Hypothese (H1) lautet in diesem Zusammenhang: Mit zunehmender Beschäftigungsdauer in Basisarbeit verschlechtert sich die durchschnittliche individuelle Gesundheit. Die zweite Hypothese (H2) testet den gleichen Zusammenhang für Beschäftigte in der Facharbeit. Es wird auch hier von einer Verschlechterung der Gesundheit ausgegangen. Die Hypothesen H3 und H4

testen die Selektionshypothese anhand der Übergänge zwischen Basis- und Facharbeit und deren Zusammenhang mit dem Gesundheitszustand. Für H3 wird angenommen, dass eine Verschlechterung der Gesundheit einen Übergang von der Fach- in die Basisarbeit begünstigt. Hinsichtlich H4 wird kein Zusammenhang zwischen der Gesundheit und dem Übergang von Basis- in Facharbeit erwartet. Die Hypothesen werden mit linearen Fixed-Effects-Modellen getestet (Allison, 2009; Brüderl & Ludwig, 2015). Verwendet wird der Längsschnittdatensatz des Sozio-oekonomischen Panel (SOEP) (Liebig et al., 2022).

Vor dem Hintergrund der verlängerten Lebensarbeitszeit („Rente mit 67“) und der Schließung von Vorruhestandsmöglichkeiten in Deutschland ist eine Untersuchung des Gesundheitszustands für Beschäftigte in Basisarbeit relevant. Denn die Gesundheit der Beschäftigten ist das Fundament der Erwerbsarbeit sowie Arbeitsfähigkeit und ist essentiell, um die Herausforderung einer verlängerten Lebensarbeitszeit zu bewältigen. Studien zeigen das hohe Risiko einer Erwerbsminderungsrente bei Tätigkeiten, die der Basisarbeit zugeordnet werden können (Mika, 2013) sowie die geringe Wahrscheinlichkeit einer Rückkehr in den Arbeitsmarkt, wenn eine Erwerbsminderung vorliegt (Zink & Brussig, 2022). Aufgrund des demografischen Wandels wird das Arbeitskräftepotenzial mittel- bis langfristig zurückgehen. Daher ist die Gesundheit von Beschäftigten in Basisarbeit, die rund ein Fünftel der abhängig Beschäftigten ausmachen und wichtige Tätigkeiten ausüben, auch von gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Relevanz.

2. Daten und Methoden

Das Sozio-oekonomische Panel (SOEP) der Version 37 dient als Datengrundlage für die vorliegende Studie (Liebig et al., 2022). Zu den Basisarbeitenden zählen angelernte und ungelernte Tätigkeiten sowie Beamte im einfachen Dienst, für die keine abgeschlossene Berufsausbildung erforderlich ist. Unter Facharbeitenden versteht man qualifizierte Tätigkeiten für Angestellte und Arbeiter sowie Beamte im mittleren Dienst, für die eine abgeschlossene Berufsausbildung erforderlich ist (Abel et al., 2009; Kaboth et al., 2022).

Der Untersuchungszeitraum erstreckt sich von 2010 bis 2020 (11 Erhebungswellen) und umfasst Männer und Frauen im Erwerbsalter von 25 bis 50 Jahren. Die Stichprobe wird auf abhängig Beschäftigte und Personen reduziert, die potenziell dem Arbeitsmarkt zur Verfügung stehen. Somit werden auch Arbeitslose und Nichterwerbspersonen in die Stichprobe einbezogen, da ein Übergang in Beschäftigung theoretisch möglich ist. Selbstständige, Rentner und Personen ohne Angaben zu ihrem Beruf werden ausgeschlossen. Da Veränderungen im Zeitverlauf von Interesse sind, werden Personen, die nur an einer Welle der SOEP teilgenommen haben, aus der Stichprobe ausgeschlossen. Insgesamt ergibt sich eine Stichprobe von 26.313 Personen oder 138.390 Beobachtungen (Personenjahre).

Für die erste Forschungsfrage (Kausalitätsperspektive) ist die selbst eingeschätzte Gesundheit die abhängige Variable. Die Skala reicht von 1 (sehr gut) bis 5 (sehr schlecht). Die verwendete unabhängige Variable ist die kumulierte Dauer (in Jahren) in Basis- oder Facharbeit. Für die zweite Forschungsfrage (Selektionsperspektive) ist die Gesundheit die unabhängige Variable. Der Übergang von einem Beschäftigungsstatus zu einem anderen ist die abhängige Variable, in diesem Fall der Übergang von Basisarbeit (Zeitpunkt t) zu Facharbeit (Zeitpunkt t+1) und umgekehrt.

Kausale Zusammenhänge können in der Regel nicht mit gepoolten Ordinary Least Squares (POLS) untersucht werden, da diese Ergebnisse oft verzerrt sind (Allison, 2009; Brüderl & Ludwig, 2015). Aus diesem Grund wurden lineare Fixed-Effects-Modelle (FE) für die Kausalperspektive verwendet. Lineare Wahrscheinlichkeitsmodelle (LPM) mit FE werden für die Selektionshypothesen benutzt, da eine binäre abhängige Variable vorliegt. Es wird für diverse relevante Variablen kontrolliert, beispielsweise Bildung oder physische Arbeitsanforderungen. Weitere Informationen zur Methodik können der Veröffentlichung von Kaboth et al. (2024) entnommen werden.

3. Ergebnisse

3.1 Kausalitätsperspektive

Die erste Forschungsfrage zielt darauf ab, den Zusammenhang zwischen der kumulierten Beschäftigungsdauer nach Anforderungsniveau der Tätigkeit und der selbst eingeschätzten Gesundheit zu untersuchen. Tabelle 1 zeigt die multivariaten Ergebnisse für die erste Forschungsfrage. Modell 1 zeigt die Ergebnisse für die Beschäftigungsdauer in Basisarbeit und Modell 2 für die in Facharbeit.

Tabelle 1: *FE Schätzer für den Zusammenhang zwischen der Dauer der Beschäftigung in Basis- /Facharbeit und der subjektiven Gesundheit.*

	Model 1 (FE)		Model 2 (FE)	
	Gesundheit [a]		Gesundheit [a]	
	Koef.	RSF [b]	Koef.	RSF [b]
Basisarbeit (Dauer in Jahren)			0,012***	0,003
Facharbeit (Dauer in Jahren)	-0,004	0,003		
Konstante	0,932**	0,311	1,015**	0,310
R2	0,02		0,02	
adj. R2	0,02		0,02	
n	85.069		85.069	

*** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05; a = 1: sehr gut, 5: sehr schlecht; b = Robuste Standard Fehler; Kontrollvariablen: Alter (linear und quadratisch), Bildung (in Jahren), Physische Arbeitsanforderungen (JEM), Arbeitsintensität (JEM), Partnerschaft, Grad der Behinderung, Surveywelle (Dummy), Befristung, Geringfügige Beschäftigung, Monatliches Bruttoeinkommen (logarithmiert), Arbeitsplatzsicherheit, Arbeitserfahrung (in Jahren), Arbeitslosigkeitserfahrung (in Jahren), Regionale Arbeitslosenquote

Im ersten FE-Modell zur Dauer der Beschäftigung in Basisarbeit ist ein signifikanter Effekt auf die selbst eingeschätzte Gesundheit erkennbar ($r = 0{,}012$, $p<0{,}001$). Die erste Hypothese – mit zunehmender Beschäftigungsdauer in Basisarbeit verschlechtert sich die Gesundheit – kann bestätigt werden. In Bezug auf die Facharbeit zeigt das zweite Modell, dass es keinen Effekt gibt und dieser nicht signifikant ist ($r = -0{,}004$, $p>0{,}05$). Die zweite Hypothese, dass die Beschäftigungsdauer in Facharbeit die Gesundheit verschlechtert, kann nicht bestätigt werden.

3.2 Selektionsperspektive

Im zweiten Schritt wird die Selektionshypothese betrachtet. Es ist davon auszugehen, dass Erwerbstätige mit schlechter Gesundheit von Fach- zu Basisarbeit wechseln (H3). Tabelle 2 präsentiert die multivariaten Ergebnisse.

Tabelle 2: *Lineare Wahrscheinlichkeitsmodelle (LPM) und Lineare Wahrscheinlichkeitsmodelle mit FE Schätzer zum Zusammenhang zwischen Subjektiver Gesundheit und dem Übergang von zwischen Basis-/ Facharbeit.*

	Model 3 (LPM FE)		Model 4 (LPM FE)	
	Übergang von Fach- in Basisarbeit		Übergang von Basis- in Facharbeit	
	Koef.	RSF [b]	Koef.	RSF [b]
Gesundheit [a]	0,010***	0,003	-0,001	0,004
Konstante	-0,985***	0,216	-1,427***	0,325
R2	0,01		0,04	
adj. R2	0,01		0,04	
n	36.436		26.260	

*** p<0,001, ** p<0,01, * p<0,05; a = 1: sehr gut, 5: sehr schlecht; b = Robuste Standard Fehler; Kontrollvariablen: Alter (linear und quadratisch), Bildung (in Jahren), Physische Arbeitsanforderungen (JEM), Arbeitsintensität (JEM), Partnerschaft, Grad der Behinderung, Surveywelle (Dummy), Befristung, Geringfügige Beschäftigung, Monatliches Bruttoeinkommen (logarithmiert), Arbeitsplatzsicherheit, Arbeitserfahrung (in Jahren), Arbeitslosigkeitserfahrung (in Jahren), Regionale Arbeitslosenquote

Modell 3 (LPM FE) zeigt, dass eine Verschlechterung des Gesundheitszustands die Wahrscheinlichkeit eines Wechsels von Fach- zu Basisarbeit signifikant erhöht (r = 0,010, p<0,001). H3 kann mit diesen Ergebnissen bestätigt werden. Modell 4 (LPM FE) zeigt keinen signifikanten Effekt (r = -0,001, p>0,05). Das bedeutet, die vierte Hypothese in der davon ausgegangen wird, dass kein Zusammenhang zwischen Gesundheit und dem Übergang von Basis- in die Facharbeit besteht, kann bestätigt werden.

4. Diskussion

Die Analysen mit dem SOEP bestätigen, dass die kumulierte Beschäftigungsdauer in Basisarbeit die subjektive Gesundheit beeinträchtigt (H1). Beschäftigte in diesem Tätigkeitsbereich geben im Durchschnitt einen schlechteren Gesundheitszustand an, der sich mit zunehmender Dauer in diesen Tätigkeiten verschlechtert. Dieses Ergebnis ist wahrscheinlich auf die hohen körperlichen Arbeitsanforderungen sowie die geringe Ressourcenausstattung (z. B. Autonomie) der Beschäftigten in Basisarbeit zurückzuführen (Aittomäki et al., 2003; Landsbergis et al., 2003; Ravesteijn et al., 2013). Mittel- bis langfristig dürfte dies für Erwerbstätige in Basisarbeit das Risiko einer vorzeitigen Verrentung erhöhen, auch das Risiko einer Erwerbsminderungsrente (Mika, 2013).

Entgegen den Erwartungen lässt sich die aufgestellte Kausalhypothese hinsichtlich der Beschäftigungsdauer in Facharbeit nicht bestätigen (H2). Die kumulierte Beschäftigung in Facharbeit hat einen kaum vorhandenen und nicht signifikanten Effekt auf die Gesundheit. Eine Erklärung hierfür könnte in den Ressourcen liegen, die diesen Beschäftigten zur Verfügung stehen (z. B. Handlungsautonomie, Rollenklarheit oder soziale Unterstützung), die einen negativen Effekt auf die Gesundheit entgegenwirken können (Lu et al., 2023; Orgambídez et al., 2022; Smith et al., 2011).

Die zweite Analyse widmet sich der Selektion in Basis- bzw. Facharbeit, dabei konnte H3 bestätigt werden: Die Wahrscheinlichkeit eines Wechsels von Fach- zu Basisarbeit nimmt mit einer Verschlechterung der selbst eingeschätzten Gesundheit zu. Eine Erklärung für den Übergang zu Basisarbeit könnte der Unterschied in den psychosozialen Arbeitsanforderungen zwischen den beiden Gruppen sein. Denn Facharbeitende haben höhere psychosoziale Arbeitsanforderungen als diejenigen in Basisarbeit (Kaboth et al., 2021). Eine mögliche Erklärung ist das sogenannte „Downshifting", welches im deutschen Kontext bisher wenig Beachtung gefunden hat. Darunter

versteht man den Wechsel zu einem weniger anspruchsvollen Arbeitsplatz, um die Arbeitszeit und gleichzeitig die Arbeitsintensität zu reduzieren (Kennedy et al., 2013). Ein weiteres Motiv für den Übergang von Fach- zu Basisarbeit, ist die Vermeidung von Arbeitslosigkeit und den damit verbundenen finanziellen Einbußen. Da für die Beschäftigung in Basisarbeit keine Qualifikation erforderlich ist, haben insbesondere Erwerbstätige, die eine Berufsausbildung abgeschlossen haben, gute Beschäftigungschancen.

Die vierte Hypothese, in der davon ausgegangen wird, dass eine Verschlechterung des Gesundheitszustands die Wahrscheinlichkeit eines Übergangs von Basis- zu Facharbeit verringert, lässt sich empirisch bestätigen. Eine aktuelle Studie, die sich mit Erwerbsverläufen beschäftigt, legt nahe, dass Übergänge eher betriebsintern stattfinden und auf Qualifizierungs- und Stellenbesetzungsprozesse zurückzuführen sind (Kaboth et al., 2023). Die Motive eines Übergangs von Basis- in Facharbeit sind somit seltener auf die Gesundheit, sondern eher auf Stellenbesetzungs- und Arbeitsmarktprozesse sowie Karrieremöglichkeiten zurückzuführen.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass sich die subjektive Gesundheit der Basisarbeitenden über den Erwerbsverlauf verschlechtert. Außerdem selektieren sich Facharbeitende aufgrund ihres Gesundheitszustandes in Basisarbeit. Die Identifizierung und Reduktion von Arbeitsbelastungen können zentrale Ansätze darstellen, beispielsweise mit Hilfe der Gefährdungsbeurteilung oder den Leitmerkmalmethoden für verschiedene Belastungsarten. Vor dem Hintergrund des demografischen Wandels und einer zu erwartenden Arbeitskräfteknappheit bei Tätigkeiten mit gesellschaftlicher sowie wirtschaftlicher Relevanz, ist der langfristige Erhalt der Gesundheit und Arbeitsfähigkeit erstrebenswert.

Die hier vorgestellte Studie hat Limitationen. Erstens konnte nicht zwischen körperlicher und mentaler Gesundheit unterschieden werden, da diese Daten nicht auf Jahresbasis verfügbar sind. Zweitens konnten für die zweite Forschungsfrage nur zwei Jahre berücksichtigt werden, sodass komplexere Beschäftigungsverläufe nicht in die Analysen einbezogen werden konnten. In diesem Zusammenhang sind auch andere relevante Übergänge ausgeschlossen worden, wie z. B. Übergänge zwischen Basisarbeit und Arbeitslosigkeit. Darüber hinaus können aufgrund der verwendeten Methodik die Effektgrößen nicht verglichen werden, sodass es aus statistischer Sicht unmöglich ist, zu beurteilen, welche der beiden Perspektiven für Beschäftigte, die Basisarbeit ausüben, relevanter ist.

5. Literatur

Abel, J., Hirsch-Kreinsen, H. & Ittermann, P. (2009) Einfacharbeit in der Industrie: Status quo und Entwicklungsperspektiven [Online].

Adler, N. E. & Ostrove, J. M. (1999) "Socioeconomic status and health: what we know and what we don't", Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 896, S. 3–15.

Aittomäki, A., Lahelma, E. & Roos, E. (2003) "Work conditions and socioeconomic inequalities in work ability", Scandinavian journal of work, environment & health, Vol. 29, No. 2, S. 159–165.

Allison, P. D. (2009) Fixed effects regression models, Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC, SAGE.

Blane, D., Smith, G. D. & Bartley, M. (1993) "Social selection: what does it contribute to social class differences in health?", Sociology of Health & Illness, Vol. 15, No. 1, S. 1–15.

Brüderl, J. & Ludwig, V. (2015) "Fixed-effects panel regression", in Best, H. & Wolf, C. (Hg.) The SAGE handbook of regression analysis and causal inference, London, SAGE Publications.

Chandola, T., Bartley, M., Sacker, A., Jenkinson, C. & Marmot, M. (2003) "Health selection in the Whitehall II study, UK", Social science & medicine (1982), Vol. 56, No. 10, S. 2059–2072.

Goldman, N. (2001) "Social Inequalities in Health", Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 954, No. 1, S. 118–139.

Hoffmann, R., Kröger, H. & Geyer, S. (2019) "Social Causation Versus Health Selection in the Life Course: Does Their Relative Importance Differ by Dimension of SES?", Social Indicators Research, Vol. 141, No. 3, S. 1341–1367.

Kaboth, A., Hünefeld, L. & Himmelreicher, R. (2023) "Employment trajectories of workers in low-skilled jobs in Western Germany", Journal for Labour Market Research, Vol. 57, No. 1, S. 1–17.

Kaboth, A., Hünefeld, L. & Himmelreicher, R. (2024) "Employment in low-skilled jobs as trigger and consequence of poor health-a longitudinal perspective from Germany", European journal of public health, S. 1–7.

Kaboth, A., Hünefeld, L., Lück, M. & Beermann, B. (2021) "Anforderungen und Ressoucen in der Basisarbeit. Der Dienstleistungssektor im Fokus.", in Große-Jäger, A., Hauser, R., Lauenstein, O., May-Schmidt, J., Merfert, M., Stiegler, F. & Zwingmann, B. (Hg.) Basisarbeit. Mittendrin und außen vor., Bonn, Sybergue VerbriebsDienstleistung GmbH, 166-185.

Kaboth, A., Lück, M. & Hünefeld, L. (2022) Einfacharbeit und Arbeitsbedingungen - Auswirkungen unterschiedlicher Operationalisierungen. [Online], Dortmund, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (baua: Fokus). Verfügbar unter https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Fokus/Einfacharbeit.pdf?__blob=publicationFile&v=2.

Kaboth, A., Lück, M., Hünefeld, L. & Vegner, V. (2025) Arbeits- und Gesundheitssituation von Erwerbstätigen in der Einfacharbeit [Online], Dortmund (baua: Bericht).

Kennedy, E. H., Krahn, H. & Krogman, N. T. (2013) "Downshifting: An Exploration of Motivations, Quality of Life, and Environmental Practices", Sociological Forum, Vol. 28, No. 4, S. 764–783.

Kröger, H. (2016) "The contribution of health selection to occupational status inequality in Germany - differences by gender and between the public and private sectors", Public health, Vol. 133, S. 67–74.

Kröger, H., Pakpahan, E. & Hoffmann, R. (2015) "What causes health inequality? A systematic review on the relative importance of social causation and health selection", European journal of public health, Vol. 25, No. 6, S. 951–960.

Landsbergis, P. A., Schnall, P. L., Pickering, T. G., Warren, K. & Schwartz, J. E. (2003) "Lower socioeconomic status among men in relation to the association between job strain and blood pressure", Scandinavian journal of work, environment & health, Vol. 29, No. 3, S. 206–215.

Liebig, S., Goebel, J., Grabka, M., Schröder, C., Zinn, S., Bartels, C., Franken, A., Gerike, M., Geschke, S.-C., Griese, F., Kara, S., König, J., Krause, P., Kröger, H., Liebau, E., Nebelin, J., Petrenz, M., Richter, D., Schupp, J., Siegers, R., Steinhauer, H. W., Wenzig, K., Zimmermann, S. & Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (2022) "Sozio-oekonomisches Panel, Daten der Jahre 1984-2020 (SOEP-Core, v37, EU Edition)".

Lu, Z., Wang, S., Li, Y., Liu, X. & Olsen, W. (2023) "Who Gains Mental Health Benefits from Work Autonomy? The Roles of Gender and Occupational Class", Applied research in quality of life, Vol. 18, S. 1–23.

Mika, T. (2013) "Risiken für eine Erwerbsminderung bei unterschiedlichen Berufsgruppen", Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz, Vol. 56, No. 3, S. 391–398.

Mulatu, M. S. & Schooler, C. (2002) "Causal Connections between Socio-Economic Status and Health: Reciprocal Effects and Mediating Mechanisms", Journal of Health and Social Behavior, Vol. 43, No. 1, S. 22–41.

Orgambídez, A., Almeida, H. & Borrego, Y. (2022) "Social support and job satisfaction in nursing staff: Understanding the link through role ambiguity", Journal of nursing management, Vol. 30, No. 7, S. 2937–2944.

Ravesteijn, B., van Kippersluis, H. & van Doorslaer, E. (2013) "The contribution of occupation to health inequality", Research on economic inequality, Vol. 21, S. 311–332.

Rigó, M., Dragano, N., Wahrendorf, M., Siegrist, J. & Lunau, T. (2021) "Work stress on rise? Comparative analysis of trends in work stressors using the European working conditions survey", International archives of occupational and environmental health, Vol. 94, No. 3, S. 459–474.

Smith, A., Choi, N., Fuqua, D. & Newman, J. (2011) "Role ambiguity as a moderator of occupational self-efficacy and job satisfaction", Psychological reports, Vol. 109, No. 1, S. 243–251.

Zink, L. & Brussig, M. (2022) Erwerbsminderungsrente und Erwerbstätigkeit [Online], Duisburg-Essen (Altersübergangs-Report 1). Verfügbar unter https://duepublico2.uni-due.de/servlets/MCRFileNodeServlet/duepublico_derivate_00075646/auem_2022-01.pdf (Abgerufen am 27 August 2024).

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt PD Dr. Ralf Himmelreicher bei der Erstellung des Originalartikels, welcher bereits veröffentlicht ist (Kaboth et al., 2024).

Zurück an den Arbeitsplatz: Bedarfsfokussierte Teilhabe am Arbeitsleben für Menschen mit erworbenen Hirnschädigungen (BETA-MeH)

Regina OSRANEK, Annette BLAUDSZUN-LAHM

Institut für Technologie und Arbeit e. V.
Eisenbahnstraße 40-42, D-67655 Kaiserslautern

Kurzfassung: Der Beitrag beschreibt die Erprobung einer innovativen Rehabilitationsstrategie zur beruflichen Reintegration von Menschen mit erworbenen Hirnschädigungen. Die Intervention ersetzt die sequentielle Abfolge von medizinischer und beruflicher Rehabilitation durch eine flexible, bedarfsfokussierte Komplexleistung mit einem durchgängigen Fallmanagement, frühzeitige arbeitsplatzbezogene Begleitung durch eine Fachkraft für betriebliche Intervention und frühe Einbindung des Betriebs. Die Wirksamkeit wird in einem randomisierten Kontrollgruppendesign mit mehreren Messzeitpunkten untersucht. Ergebnisse weisen auf höhere Return to Work-Quoten und ein besseres Wohlbefinden hin, was vermutlich durch das Verleihen psychologischer Sicherheit, Orientierung und Entlastung durch die Fachkraft unterstützt wird.

Schlüsselwörter: berufliche Teilhabe, Return to Work, Arbeitsplatzgestaltung, Fallmanagement, berufliche Reintegration

1. Problemlage

Erwerbstätige Menschen nach einer längeren Erkrankung zurück in Arbeit zu bringen - der sog. Return to Work (RTW) - und damit berufliche Teilhabe zu ermöglichen, ist einer der wesentlichen Aufträge der Deutschen Rentenversicherung (Heyme 2026). Dies korrespondiert mit dem Verständnis der Arbeitswissenschaft, Arbeitssysteme menschengerecht zu gestalten (Schlick et al. 2018, S. 60).

Das rehapro Projekt BETA-MeH („Bedarfsfokussierte Teilhabe am Arbeitsleben für Menschen mit erworbenen Hirnschädigungen“)[15] widmet sich diesem Auftrag durch die Erprobung einer innovativen Rehabilitationsstrategie für Menschen mit einer erworbenen Hirnschädigung (MeH) mit Diagnosen wie Schlaganfall, Schädelhirntrauma und anderer akuter Erkrankungen des zentralen Nervensystems (z. B. gutartige Tumore, Multiple Sklerose mit seltenen Krankheits-Schüben).

Statistiken zeigen: Nur etwa die Hälfte aller Menschen schafft nach einem neurologischen Ereignis den beruflichen Wiedereinstieg nach einer Rehabilitation (52 Prozent ein Jahr postrehabilitativ; Streibelt et al. 2023). Die Rückkehrquoten sind geringer als bei anderen Reha-Indikationen (z. B. Psychosomatik: 56 Prozent, Orthopädie: 70 Prozent, Kardiologie: 66 Prozent; Fadyl et al. 2009, Streibelt et al. 2024, Bethge et al. 2025).

[15] Das Projekt BETA-MeH wird gefördert durch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) im Bundesprogramm „Innovative Wege zur Teilhabe am Arbeitsleben – rehapro“ (Laufzeit: 01.11.2021 - 31.10.2026).

Über diese Statistik hinausgehend knüpft das Projekt an einem weiteren Bedarf an, der empirisch identifiziert wurde und der mit hoher Wahrscheinlichkeit vermuten lässt, dass ein Teil der Betroffenen durch eine bedarfsfokussiertere Begleitung eher den Weg zurück zum Arbeitsplatz finden würde als durch übliche Maßnahmen und Ansätze der Rehabilitation (sog. Regelversorgung): Mit Blick auf die Daten 2019 der Deutschen Rentenversicherung Bund zeigt sich, dass 40,1 Prozent der Rehabilitand:innen zwei Jahre nach Abschluss einer neurologischen Rehabilitation nicht stabil beschäftigt sind, obwohl 66 Prozent der Rehabilitand:innen bei Entlassung eine volle Leistungsfähigkeit in ihrem letzten Beruf und 72 Prozent eine volle Leistungsfähigkeit auf dem allgemeinen Arbeitsmarkt prognostiziert wurde (Heyme 2026).

Gleichzeitig zeigen Studien zu Komorbiditäten der Zielgruppe, dass zahlreiche dieser Patient:innen v.a. an Depression und Angststörungen leiden und auch noch nach Jahren dementsprechende Symptome zeigen (Lincoln et al. 2012, Schupp 2015). Auch das Fatigue-Syndrom ist ausgeprägt (Schepers et al. 2006). Der Projektkonzeption lag die Hypothese zu Grunde, dass durch eine bedarfsfokussierte Begleitung der Rehabilitand:innen diese Kriterien im Vergleich zu Rehabilitand:innen der Regelversorgung niedriger ausgeprägt sein werden, da Sorgen und Ängste aufgefangen und rechtzeitiger behandelt werden können.

Auf der Suche nach Ansätzen zur Verbesserung der Rehabilitation für Menschen mit erworbener Hirnschädigung sind Schwarz et al. (2019) durch eine qualitative Meta-Synthese auf zentrale Faktoren gestoßen, wie der Prozess zur Rückkehr an den Arbeitsplatz nach einem neurologischen Ereignis zielführender gestaltet werden kann. Diese Erkenntnisse flossen in ein konzeptionelles Modell, das sog. APC-Modell, das durch die zentralen Begriffe des Modellnamens Adaptiveness (Anpassungsfähigkeit), Purposefulness (Zielgerichtetheit) und Cooperativeness (Kooperationsbereitschaft) aufzeigt, welche Handlungsprinzipien wesentlich für einen RTW sind.

Aufgrund dieser und weiterer Erkenntnisse wurde eine innovative Rehabilitationsstrategie für die Zielgruppe MeH entwickelt und im Projekt BETA-MeH erprobt sowie evaluiert. Abschnitt 2 wird diese neue Strategie erläutern.

Die BETA-MeH-Studie ist als randomisiertes Kontrollgruppendesign mit mehreren Messzeitpunkten konzipiert, die v.a. die folgenden Hypothesen untersuchen möchte:

Hypothese 1: Personen der Zielgruppe, die eine Rehabilitation gemäß der innovativen Rehabilitationsstrategie BETA-MeH durchlaufen haben, kehren nach Beginn der Intervention um 20 Prozent häufiger wieder in ein sozialversicherungspflichtiges Arbeitsverhältnis zurück als Personen der Regelversorgung (Kontrollgruppe).

Hypothese 2: Personen der Zielgruppe, die eine Rehabilitation gemäß der innovativen Rehabilitationsstrategie BETA-MeH durchlaufen haben, zeigen nach einem Jahr und nach 18 Monaten ab Beginn der Intervention signifikant bessere Werte in den Dimensionen Angst, Depression, Fatigue und subjektiver Lebensqualität auf als Personen der Regelversorgung (Kontrollgruppe).

2. Antwort auf die Problemlage: Eine bedarfsfokussierte Komplexleistung

Als erfolgversprechend wird bei der beruflichen Reintegration von MeH ein Prozess erachtet, der die bisherige eher sequentiell gestaltetet Abfolge von Behandlungen, wie sie im neurologischen Phasenmodell als ein Nacheinander von medizinischer Rehabilitation (Phase D) und beruflicher Rehabilitation (Phase E) angelegt sind, ablöst und stattdessen eine flexible, bedarfsorientierte Komplexleistung umsetzt. Unter einer

Komplexleistung ist ein gebündeltes Leistungspaket zu verstehen, das verschiedene, miteinander verknüpfte Behandlungen bzw. Therapieansätze sektorenübergreifend durch ein Fallmanagement koordiniert, um eine effektivere, ganzheitliche Rehabilitation zu gewährleisten.

Diese neue Rehabilitationsstrategie zeichnet sich durch die folgenden innovativen Merkmale aus (vgl. auch Claros-Salinas et al. 2026):

- durchgängige Begleitung der Rehabilitand:innen durch ein Fallmanagement (FM) für längstens 12 Monate inkl. Verfügbarkeit für die 6-monatige nachgehende Begleitung nach der BETA-MeH-Intervention
- frühzeitige arbeitsplatzbezogene Begleitung durch eine Fachkraft für betriebliche Intervention (FBI)
- frühzeitiger Einbezug aller Beteiligten, auch des Betriebes, in die Planung des Rehabilitationsprozesses
- bedarfsorientierter Übergang von rehabilitationsklinischer zu betrieblicher Phase inkl. Rückkopplungsschleifen, wenn sich innerhalb der betrieblichen Erprobung am Arbeitsplatz ein erneuter Bedarf an rehabilitationsklinischer, berufsorientierter Rehabilitation zeigt,
- kleinschrittiger Beginn beruflicher, zeitlicher wie inhaltlicher Belastung am bisherigen Arbeitsplatz (geringerer Umfang als es das sog. Hamburger Modell vorsieht) und
- im weiteren Verlauf eine bedarfsorientierte Belastungssteigerung

Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht spielt die Fachkraft für betriebliche Intervention (FBI) eine zentrale Rolle, die die Teilhabe an Arbeit auf dem ersten Arbeitsmarkt in den Mittelpunkt stellt und die realen Anforderungen im Arbeitsplatzkontext systematisch erfasst (z. B. mit standardisierten Fragebögen, Profilabgleichen, Arbeitsplatzvisite). Sie führt arbeitsplatzbezogene Assessments und Re-Assessments durch, begleitet externe Belastungserprobungen und stufenweise Wiedereingliederung, prüft und passt RTW-Pläne an und dokumentiert Verlauf, Kontakte und Leistungsentwicklung (Tagesprotokolle, Kurzprotokolle von Gesprächen, Profilabgleiche). Die Fachkraft arbeitet eng mit Fallmanagement, Rehabilitationsklinik, Arbeitgeber (Vorgesetzte, BEM-Beauftragte, Betriebsärzte, Schwerbehindertenvertretung) und ggf. Fremdbetrieben bzw. Fördereinrichtungen zusammen. In sog. RTW-Konferenzen, koordinierenden Abstimmungsterminen aller beteiligten Akteur:innen, bringt sie ihre arbeitsplatzbezogenen Beobachtungen, Leistungsbeurteilungen in Bezug auf Einschränkungen und Anforderungen und Zielerreichungsinterviews ein, wirkt an konsensualen Entscheidungen zu Beginn, im Zuge etwaiger Anpassungen und beim Abschluss der Wiedereingliederung sowie bei Konflikten oder drohenden Abbrüchen mit.

Die Fachkraft arbeitet aufsuchend, d.h. mit Arbeitsplatzbesuchen, persönlichen Gesprächen vor Ort, ergänzt durch Telefon- und Videokontakte, insbesondere zu Beginn mit hoher Frequenz (anfangs täglicher Austausch, später mindestens wöchentlich). Ihr Vorgehen ist lösungsorientiert, personenzentriert und interdisziplinär ausgerichtet: Sie vermittelt zwischen Rehabilitand:innen und Betrieb, berät zu Arbeitsgestaltung, Pausenmanagement, digitaler Arbeitsplatzausstattung, kompensatorischen Strategien und krankheitsbezogener Kommunikation im Team und sorgt für schnelle Reaktion bei Problemen und Konflikten im betrieblichen Verlauf.

Für das Gelingen dieses Prozesses wird von der FBI eine ausgewiesene Neurokompetenz sowie eine hohe Bereitschaft zur interdisziplinären Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Akteur:innen sowohl während der Intervention als auch am Arbeitsplatz der Rehabilitand:innen erwartet. Rehabilitand:innen der Kontrollgruppe

erhielten während des Studienverlaufs die bisher etablierte Rehabilitationsstrategie ohne FBI und begleitendes Fallmanagement.

3. Ergebnisse der Erprobung

In die Studie (Erprobung der BETA-MeH Intervention) konnten insgesamt 91 Personen aufgenommen werden (57 Personen in der Intervention, 34 in der Kontrollgruppe), wovon abzüglich der Abbrüche (n = 19) insgesamt 72 Personen die Studiengruppe bilden (44 in der Intervention, 28 in der Kontrollgruppe).

Bisher konnten 50 Personen die Studie beenden (unabhängig vom Erfolg) (30 in der Intervention, 20 in der Kontrollgruppe) (Stand: Dezember 2025).

Die angestrebte Stichprobengröße von 240 Personen wurde trotz Anpassungen der Rekrutierungsstrategie nicht erreicht.

Zur Überprüfung der genannten Hypothesen dienten Daten der Rehabilitand:innen, die nach 12 Monaten ab Studienbeginn durch Selbstauskunft erhoben wurden. Auf die Frage, ob die Person wieder an ihren Arbeitsplatz zurückgekehrt sei, zeigte sich, dass nach einem Jahr 18 von 23 Personen der Interventionsgruppe (78 Prozent), die zur t1-Befragung (nach 12 Monaten ab Studienbeginn) per standardisierter Befragung eine Rückmeldung gaben, an ihren Arbeitsplatz zurückgekehrt sind. Im Vergleich hierzu sind in der Gruppe der Regelversorgung nur 10 von 17 Personen (58,8 Prozent) an den Arbeitsplatz zurückgekehrt.

Auch der Stellenumfang der zurückgekehrten Studienteilnehmenden ist relevant: Hier ist der positive Effekt – der Stellenumfang ist etwa / genauso hoch wie früher – nach 12 Monaten bei den Teilnehmenden der Intervention größer (64,3 Prozent) als in der Gruppe der Regelversorgung (37,5 Prozent). Nach 18 Monaten lag der Anteil derjenigen mit einem annähernd gleichen Stellenumfang wie vor dem Ereignis in der Interventionsgruppe nur noch bei 50 Prozent, bei der Gruppe der Regelversorgung aktuell bei 0 Prozent, während 83,3 Prozent einen geringeren Stellenumfang haben. Insofern hat sich die Situation in beiden Gruppen nach 18 Monaten zwar verschlechtert, in der Interventionsgruppe jedoch weniger stark.

Zur Bewertung des Erlebens von Angst, Depression, Fatigue und subjektiver Lebensqualität können zum jetzigen Zeitpunkt nur diejenigen Rehabilitand:innen betrachtet werden, die 12 Monate nach Beginn der Studie durch Selbstauskunft eine Rückmeldung zum aktuellen Status der Rückkehr an ihren Arbeitsplatz gaben. Für die erfolgreich an den Arbeitsplatz Zurückgekehrten zeigen sich je nach Konstrukt, Zeitpunkt und Studiengruppe unterschiedliche Befunde: Bei Eintritt in die Studie weisen beide Studiengruppe ähnliche Mittelwerte von Fatigue und Lebensqualität auf, bei Depression und Angst sind die Werte der Kontrollgruppe etwas höher als in der Interventionsgruppe. Werden die Dimensionen Angst und Depression nach 12 Monaten betrachtet, zeigt sich bei der Interventionsgruppe augenscheinlich eine leichte Verbesserung, während beide Werte in der Gruppe der Regelversorgung im Durchschnitt deutlich schlechter werden. Bei der Dimensionen Fatigue ist der Mittelwert beider Gruppen zum Zeitpunkt nach 12 Monaten etwas erhöht. Die Werte für Lebensqualität steigen in der Interventionsgruppe geringfügig an, während sie sich in der Kontrollgruppe kaum verändern. Diese Ergebnisse beziehen sich aktuell nur auf geringe Fallzahlen und sind daher nur begrenzt aussagefähig (vgl. Tabelle 1). Nonparametrische Mittelwertunterschiede erreichen daher bislang in statistischen Tests keine Signifikanz, weder zwischen den Studiengruppen noch zwischen den Messzeitpunkten. Augenscheinlich sind bis dato jedoch Unterschiede zwischen den

Studiengruppen und auch den Messzeitpunkten zu identifizieren. Es bleibt, das Ende der Studie abzuwarten.

Tasbelle 1: *Mittelwerte der sekundären Zielkriterien in beiden Studiengruppen für diejenigen Personen, die nach 12 Monaten berichteten, an den Arbeitsplatz zurückgekehrt zu sein.*

Zeitpunkt	Studiengruppe	Wert	Angst	Depression	Fatigue	Lebensqualität
Studien-beginn (t0)	**Intervention**	M	**5,64**	**4,64**	**3,5**	**2,38**
		n	11	11	10	15
		SD	2,46	2,38	1,59	0,59
	Kontrollgruppe	M	**6,3**	**6,3**	**3,93**	**2,05**
		n	6	6	5	7
		SD	1,97	3,45	1,60	0,70
Nach 12 Monaten (t1)	**Intervention**	M	**4,86**	**3,20**	**4,12**	**2,58**
		n	14	15	13	16
		SD	3,06	2,68	1,87	0,62
	Kontrollgruppe	M	**10,56**	**8,56**	**5,10**	**2,06**
		n	9	9	7	9
		SD	3,94	5,32	2,06	0,56

Anmerkung: Je höher der Mittelwert, desto höher die durchschnittliche Ausprägung des Merkmals.

Auf der Suche nach möglichen Gründen für ein augenscheinlich besseres Wohlbefinden der Interventionsgruppe bei Rückkehr an den Arbeitsplatz wurde in qualitativen Erhebungen (14 leitfadengestützte Interviews) mit Rehabilitand:innen der Interventionsgruppe und Fachkräften für betriebliche Intervention der Frage nach gegangen, wie FBI mit Rehabilitand:innen interagieren. Durch die Auswertung anhand einer qualitativ inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse nach Kuckartz (2018) zeigte sich, dass FBI neben den in Abschnitt 2 aufgezeigten Tätigkeiten durch ihre Arbeit folgende Aspekte realisieren, die vermutlich mit der Reduzierung von Ängsten und einer Stärkung der Lebensqualität einhergehen:

Psychologische Sicherheit geben (voreilige Schritte bremsen, Prozess entschleunigen, motivieren), Orientierung geben (Prozess steuern, Handlungsoptionen aufzeigen, regelmäßiges Nachhören, ob Unterstützung gebraucht wird), Selbstwirksamkeit stärken (Entscheidungen der Person mittragen und signalisieren, dass die FBI bei Misslingen zur Seite steht, sich das Einverständnis bei der Person abholen, bevor der Prozess weitergeht und dann klar die nächsten Schritte oder Handlungsoptionen aufzeigen, Organisatorisches abnehmen und entlasten (Unterstützung bei der Suche von Therapeuten, Ärzten, Anlaufstellen etc., Netzwerkpartner koordinieren, Unterstützung bei der Beschaffung von Hilfsmitteln, Krankheitsverarbeitung unterstützen (zuhören, Erlebtes besprechen, Einflussfaktoren neu einordnen).

4. Diskussion

Auch wenn die Studie noch nicht abgeschlossen ist und die Fallzahlen bisher sehr gering sind: Die bisherigen Ergebnisse konnten zeigen, dass Personen der Zielgruppe, die eine Rehabilitation gemäß der innovativen Rehabilitationsstrategie BETA-MeH durchlaufen haben, nach Beginn der Intervention um 20 Prozent häufiger wieder in ein sozialversicherungspflichtiges Arbeitsverhältnis zurückkehren als Personen der

Regelversorgung (Hypothese 1). Eine kausale Zuordnung der verschiedenen Gestaltungselemente des BETA-MeH Ansatzes ist zum aktuellen Zeitpunkt nicht möglich. Mit Erhöhung der Datenmenge wäre eine tiefergehende Analyse der Einflussfaktoren und eine Gewichtung sinnvoll, um Rückschlüsse zu ziehen, welche Faktoren am stärksten wirksam sind und wie sich diese gegenseitig beeinflussen.

Hypothese 2 kann momentan noch nicht bestätigt werden, sprich: Augenscheinlich zeigen die aktuellen Mittelwerte die Tendenz, dass Personen der Zielgruppe, die eine Rehabilitation gemäß der innovativen Rehabilitationsstrategie BETA-MeH durchlaufen haben, nach einem Jahr ab Beginn der Intervention bessere Werte in den Dimensionen Angst, Depression, Fatigue und subjektiver Lebensqualität aufweisen als Personen der Regelversorgung (Kontrollgruppe). Dies hängt vermutlich mit der intensiven Begleitung der Rehabilitand:innen in der Interventionsgruppe zusammen. Eine weitere Erforschung zur detaillierten Überprüfung kausaler Wirkzusammenhänge ist zu empfehlen. Doch zuvor ist es erforderlich, nach Abschluss der Datenerhebung (Sommer 2026) die Daten der Selbstauskünfte durch standardisierte Daten der Rentenversicherung anzureichen, um belastbarere Ergebnisse zu erzielen.

5. Literatur

Bethge M, Zollmann P, Albers R et al. (2025) Berufliche Teilhabe nach medizinischer Rehabilitation aufgrund von Muskel-Skelett-Erkrankungen: Repräsentative Analysen auf Basis der Routinedaten der Deutschen Rentenversicherung. Rehabilitation, eingereicht.

Claros-Salinas D, Schupp W, Thomas A (2026) BETA-MeH: Ziele, Akteure und Abläufe der Intervention. In: Neurologie & Rehabilitation, 1/2026: 61-72. In Druck.

Fadyl JK, McPherson KM (2009) Approaches to Vocational Rehabilitation After Traumatic Brain Injury: A Review of the Evidence. J Head Trauma Rehabil 2009; 24: 195-212.

Heyme R (2026) Zielgruppe und Problemlage von Rehabilitand:innen mit neurologischen Erkrankungen aus Sicht der Rentenversicherung. In: Neurologie & Rehabilitation, 1/2026: 5-15. In Druck.

Kuckartz U (2018) Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis Computerunterstützung. 4. Auflage. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.

Lincoln NB, Brinkmann N, Cunningham S, Dejaeger E, De Weerdt W et al. (2012) Anxiety and depression after stroke: a 5 year follow-up. *Disability & Rehabilitation*, 2012; Early Online: 1–6.

Schepers VP, Visser-Meily AM, Ketelaar M, Lindeman E (2006) Poststroke fatigue: course and ist relation to personal and stroke-related factors. ArchPhysMedRehabil 87:184–188.

Schlick C, Bruder R, Luczak H (2018) Arbeitswissenschaft. Berlin: Springer Vieweg.

Schupp W (2015) Depression und Angst nach Schlaganfall und Schädel-Hirn-Trauma. In: NeuroTransmitter 2015; 26 (11): 2-8.

Schwarz B, Claros-Salinas D, Streibelt M (2019) Meta-Synthesis of Qualitative Research on Facilitators and Barriers of Return to Work After Stroke. J Occup Rehabil 2019; 28: 28-44.

Streibelt M, Zollmann P, Völler V, Falk J, Salzwedel A (2024) Berufliche Teilhabe nach einer medizinischen Rehabilitation aufgrund von kardiovaskulären Erkrankungen – Repräsentative Analysen auf Basis der Routinedaten der Deutschen Rentenversicherung. Rehabilitation 2024; 63: 169-179.

Streibelt M, Zollmann P, Rasch L, et al. (2023) Berufliche Teilhabe nach einer medizinischen Rehabilitation aufgrund neurologischer Erkrankungen. Repräsentative Analysen auf Basis der Routinedaten der Deutschen Rentenversicherung. Rehabilitation 2023; 62: 22-30.

Arbeitssicherheit: Die 4-Rang-Methode reduziert Unfälle bei Instandhaltungsarbeiten nachhaltig

Peter HARTUNG

Büro für Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz (BAUG)
Breslauer Ring 32a, D-65239 Hochheim am Main
** früher Mitarbeiter der Berufsgenossenschaft Holz und Metall in Mainz*
Professur an der Hochschule RheinMain in Rüsselsheim am Main

Kurzfassung: Die Unfallzahlen bei der Instandhaltung von Maschinen und Anlagen sind sehr hoch. Diese müssen unter allen Umständen reduziert werden. Es existiert eine Methode zur Reduzierung der Unfälle. Diese Methode ist bereits in Vorschriften gegossen. Sie muss jedoch in der Praxis angewendet werden – sie muss bekannter werden. Die Maßnahmen der Methode lassen sich in Abhängigkeit von den erzielbaren Schutzwirkungen in 4 Ränge unterteilen. Aufgabe der Unternehmerinnen und Unternehmer sowie der betrieblichen Vorgesetzten ist es, für die einzelnen Phasen der Instandhaltungstätigkeiten festzulegen, welcher Rang der Schutzmaß-nahmen jeweils notwendig ist. Bei Einhaltung der Bedingungen der 4-Rang-Methode lassen sich die Unfälle nachhaltig reduzieren.

Schlüsselwörter: Arbeitssicherheit, Sicherheitstechnik, Unfallzahlen, Instandhaltung, Gefährdungsbeurteilung, 4-Rang-Methode

Die Sicherheitstechnik ist ein Aspekt der Arbeitswissenschaft. Ein wichtiger Punkt der Sicherheitstechnik ist die Analyse von Arbeitsunfällen.

1. Extrem hohe Unfallzahlen bei der Instandhaltung

Die Zahl der Unfälle bei Instandhaltungsarbeiten ist extrem hoch. Das liegt insbesondere daran, dass bei Instandhaltungsarbeiten ein hohes Gefährdungspotential vorliegt. Viele Verantwortliche in den Betrieben halten dieses Gefährdungspotential für naturgegeben. Aus diesem Grund werden Gefährdungen nur zum Teil reduziert, obwohl eine Reduzierung in großem Umfang möglich wäre.

Neueste Zahlen bestätigen diese Aussage: Von den zirka 40.000 meldepflichtigen Unfällen, die sich pro Jahr bei Arbeiten an Maschinen ereignen, geschehen zirka 8.000 bei Instandhaltungsarbeiten (siehe Hartung 2026). Also rund 20 % aller Unfälle ereignen sich bei der Instandhaltung!

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass in der Instandhaltung im Üblichen nur 1 - 5 %, bei hohem Automatisierungsgrad max. 7 %, der Beschäftigten arbeiten (siehe Abbildung 1).

Weitere Analysen zeigen, dass etwa 44 % der tödlichen Instandhaltungsunfälle durch Quetschungen bei laufenden Anlagen geschehen. Die meisten der Beschäftigten sind ums Leben gekommen, weil sie die Maschinen nicht ausgeschaltet oder keine ausreichenden Schutzmaßnahmen getroffen hatten.

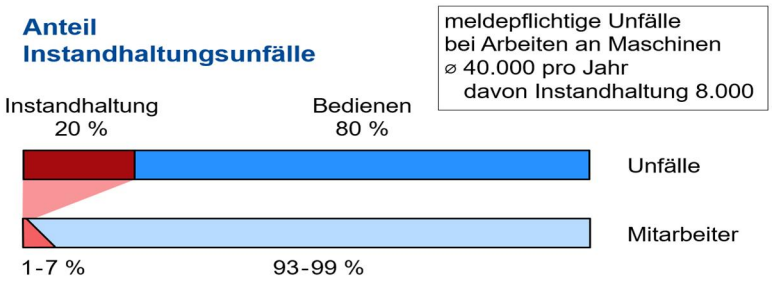


***Abbildung 1**: Überproportional viele Unfälle bei der Instandhaltung (Hartung 2026).*

2. Die 4-Rang-Methode reduziert Unfälle bei Instandhaltungsarbeiten nachhaltig

Die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) geht in § 10 auf die Grundsätze für sichere Instandhaltungsarbeiten ein und fordert deren Umsetzung. Die DGUV Information 209-015 „Instandhaltung“ (siehe Hartung et al. aktuell 2018/23) konkretisiert die geforderte Umsetzung. Sie ist mittlerweile als Stand der Technik anzusehen. Das jetzige Thema wurde in der DGUV Information vom Autor auch dieses Beitrages schon vor Jahren fixiert.

Es wird die Einhaltung der 4-Rang-Methode bei der Instandhaltung gefordert. Sie kann i.d.R. ohne großen zusätzlichen Aufwand eingesetzt werden und ohne die Ausführungen der Arbeiten zu behindern. Die 4 Ränge sind so gestaltet, dass sie praxisnah ausgeführt werden können. Werden im Rahmen der Instandhaltung die 4 Ränge immer konsequent eingehalten, kann die Anzahl der Unfälle deutlich gesenkt werden. Abbildung 2 zeigt die 4-Rang-Methode in der Übersicht.

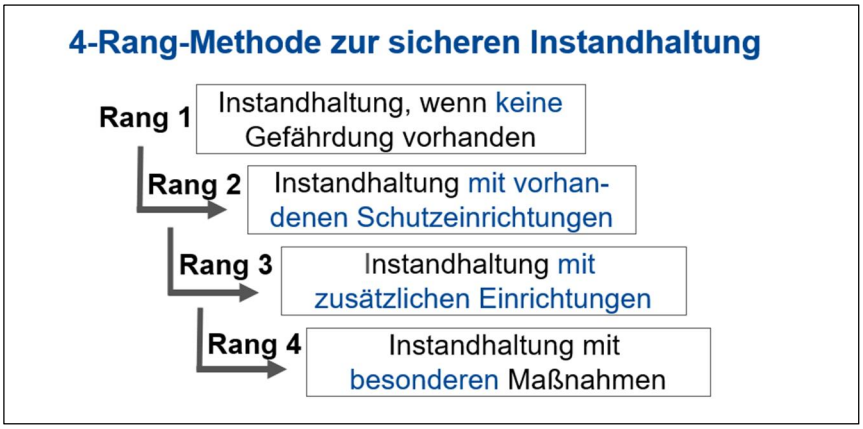


***Abbildung 2**: 4-Rang-Methode zur sicheren Instandhaltung (Hartung 2003).*

2.1 Rang 1 bei Instandhaltungsarbeiten

In Rang 1 gilt: Mit Instandhaltungsarbeiten darf erst begonnen werden, wenn Gefährdungen durch gefahrbringende Bewegungen ausgeschlossen werden können.

Die genannte Bedingung (keine Gefährdung) liegt dann vor, wenn folgende Faktoren gegeben sind:

Instandhaltung erst, wenn:
1. Energieversorgung unterbrochen ist und
2. Ingangkommen infolge gespeicherter Energie verhindert worden ist und
3. gefahrbringende Bewegungen zum Stillstand gekommen sind und
4. physikalische, chemische und biologische Einwirkungen und
5. unbefugtes, irrtümliches oder unerwartetes Ingangsetzen ausgeschlossen wird.

Ein unbefugtes, irrtümliches und unerwartetes Ingangsetzen gefahrbringender Bewegung kann nur durch Ausschalten und Abschließen des Hauptschalters ausgeschlossen werden. Dies bedeutet: Alle Beschäftigten müssen ein eigenes Schloss besitzen. Für dieses Schloss darf es nur einen passenden Schlüssel geben (siehe Abbildung 3). Ein Ersatzschlüssel kann vorhanden sein, muss jedoch für andere Beschäftigte unzugänglich aufbewahrt werden (z.B. bei der zuständigen Produktionsleitung, beim zuständigen Meister oder bei der Meisterin). Wenn das nicht gewährleistet ist, besteht die Möglichkeit, dass z.B. andere Instandhalter - aus welchen Gründen auch immer - die Schlösser der Kolleginnen und Kollegen öffnet; dies würde dazu führen, dass die aktiven Instandhalter gefährdet sind.

Zum Teil existieren in der Praxis für bestimmte Gruppen sogenannte Gruppenschlösser. Hier passen alle Schlüssel auf alle Schlösser der Gruppe. Wenn solche Gruppenschlösser oder Einheitsschlösser existieren, müssen sie abgeschafft werden.

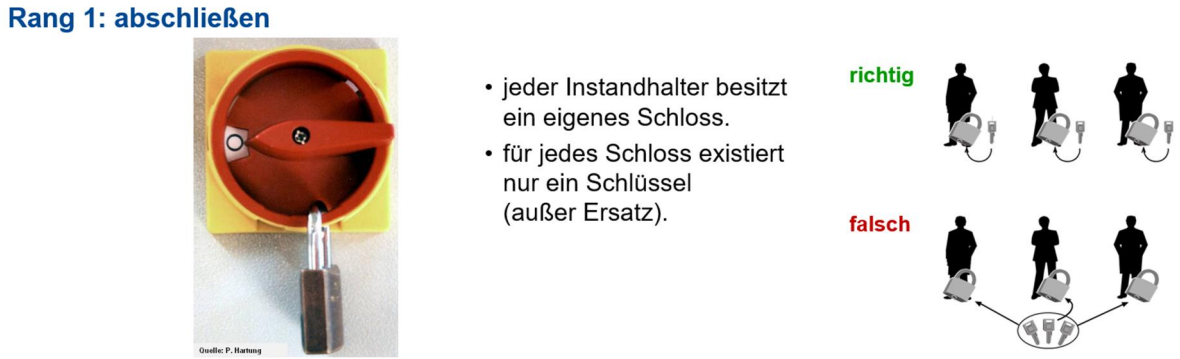


***Abbildung 3**: In Rang 1: abschließen sowie 1 Beschäftigter - 1 Schloss - 1 Schlüssel (Hartung 2003).*

Reicht beim Einsatz mehrerer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter die Zahl der möglichen Schließungen für alle Beschäftigten nicht aus (in der Regel ab 3 Personen), kann ein sogenanntes Bügelschloss verwendet werden (siehe Abbildung 4).

***Abbildung 4**: Bügelschloss mit vier Schlössern (Hartung 2003).*

Analysiert man die in der Praxis durchzuführenden Instandhaltungsarbeiten genauer, wird man zu dem Schluss kommen, dass die meisten Arbeiten unter Einhaltung

der Schutzmaßnahmen gemäß Rang 1 durchführbar sind; dies verdeutlichen die nachfolgenden Instandsetzungs-Beispiele anschaulich.

Wechsel eines Seils an einem Kran: Um ein Kranseil zu wechseln, müssen zunächst Anlagenteile demontiert werden. Dafür sind keine Kranbewegungen erforderlich. Deshalb kann der Netzanschlussschalter (in der Regel auf Flurhöhe) ausgeschaltet und abgeschlossen werden. Wenn mehrere Krane vorhanden sind, muss der jeweilige Krantrennschalter (meistens auf dem Kran) ausgeschaltet und abgeschlossen sein.

Instandsetzung eines Bearbeitungszentrums: Zur Demontage von Teilen muss der Hauptschalter ausgeschaltet und abgeschlossen werden. Teile, die absinken können (z.B. Frässpindeln), müssen außerdem festgesetzt werden. Diese Schutzmaßnahmen sind während der gesamten Zeit der Demontage und Montage zu gewährleisten.

2.2 Rang 2 bei Instandhaltungsarbeiten

Sind Instandhaltungsarbeiten nicht unter den Bedingungen von Rang 1 möglich, dürfen diese bei laufender oder eingeschalteter Maschine durchgeführt werden, wenn die Bedingungen von Rang 2 eingehalten werden (siehe noch einmal Abbildung 2).

In Rang 2 gilt: Instandhaltungsarbeiten nur mit den bereits für die Fertigung vorgeschriebenen und vorhandenen Schutzeinrichtungen.

Das bedeutet für das unter Rang 1 geschilderte Beispiel 2 „Instandsetzung eines Bearbeitungszentrums“: Muss der Arbeitsablauf der Maschine, zum Beispiel zur Fehlersuche, beobachtet werden und ist dies aus einiger Entfernung möglich, sind die für die Fertigung ebenfalls erforderlichen Schutzeinrichtungen zu verwenden. Diese Schutzeinrichtungen gestatten in der Regel eine Durchsicht, besonders dann, wenn Sichtscheiben vorhanden sind. Wurde eine Schutzeinrichtung in Rang 1 zuvor entfernt, muss sie für diese Tätigkeit wieder montiert werden.

Schutzeinrichtungen für den Rang 2 von Instandhaltungsmaßnahmen sind:

- trennende Schutzeinrichtungen, z.B. Verkleidungen, Verdeckungen, Umzäunungen oder Umwehrungen
- ortsbindende Schutzeinrichtungen, z.B. Zweihandschaltungen
- Schutzeinrichtungen mit Annäherungsreaktion wie Lichtvorhang, Lichtschranke (siehe Abbildung 5), Scanner, Schaltmatte, Schaltleiste oder Pendelkappe.

***Abbildung 5**: In Rang 2 Pflicht: z. B. Schutz durch eine Lichtschranke (Hartung 2003).*

Not-Halt-Schalter, Zustimmschalter sowie Reißleinen sind für die Schutzmaßnahme gemäß Rang 2 nicht geeignet, da sie nicht zwangsläufig wirken und demzufolge

keinen direkten Schutz gewährleisten. Sie müssten nämlich bewusst betätigt werden, um gefahrbringende Bewegungen zum Stillstand zu bringen.

2.3 Rang 3 bei Instandhaltungsarbeiten

Ist die Einhaltung der bisher geschilderten Schutzmaßnahmen unter keinen Umständen möglich, müssen zusätzliche Einrichtungen vorhanden sein und verwendet werden (siehe noch einmal die zentrale Abbildung 2).

Die Bedingung „unter keinen Umständen“ ist nicht erfüllt, wenn für die Produktion zwar Schutzeinrichtungen vorhanden sind, diese jedoch aus Zeitgründen nicht (wieder) angebracht werden sollen; genauso wenig akzeptabel ist das Argument, dass das Arbeiten ohne Schutz nur kurze Zeit in Anspruch nehmen soll.

In Rang 3 gilt: Arbeiten nur mit zusätzlichen Einrichtungen.

In der Regel sind das Einrichtungen, die

1. das Eingreifen in die Gefahrstelle entbehrlich machen oder
2. das zufällige Erreichen benachbarter Gefahrstellen erschweren oder
3. das Herabsetzen der Geschwindigkeiten ermöglichen oder
4. das schnelle Stillsetzen ermöglichen.

Für die unter Rang 1 und Rang 2 geschilderten Beispiele ist die Schutzmaßnahme nach Rang 3 wie folgt anwendbar:

Wechsel eines Seils an einem Kran: In der Zeit, in der das alte Seil abgenommen und das neue Seil aufgewickelt wird, muss die damit beschäftigte Person auch einen Zustimmungsschalter betätigen oder einen ortsveränderlichen Not-Halt-Schalter in der Hand halten. Sollte vom Kranhersteller keine entsprechende Anschlussmöglichkeit vorgesehen sein, muss sie installiert werden. Der Aufwand dafür ist nicht hoch. Im Zweifel kann zum Beispiel eine Funkfernsteuerung mit auf den Kran genommen werden. Sie wirkt dann wie ein Zustimmschalter.

Instandsetzen eines Bearbeitungszentrums: Ist es nicht möglich, den Fehler durch Beobachtung außerhalb der Schutzeinrichtung zu ermitteln, dürfen die gefahrbringenden Bewegungen bei entfernter Schutzeinrichtung direkt vor Ort nur beobachtet werden, wenn zum Beispiel ein Zustimmungsschalter gedrückt wird. Für den Anschluss eines Zustimmungsschalters kann eine entsprechende Schnittstelle geschaffen werden. Die Installation einer solchen Schnittstelle für einen Zustimmungsschalter ist zumutbar, da die Kosten dafür nicht so hoch sind und die Ergänzung dann für künftige Instandhaltungsarbeiten ebenfalls zur Verfügung steht.

2.4 Rang 4 bei Instandhaltungsarbeiten

Instandhaltungsarbeiten sind nur in sehr wenigen Fällen nicht unter Anwendung der geschilderten Schutzmaßnahmen nach Rang 1 bis 3 möglich. Für diese Ausnahmefälle kann Rang 4 gewählt werden (siehe noch einmal Abbildung 2).

Entsprechende Ausnahmefälle liegen zum Beispiel vor, wenn für Messungen an Maschinen und Anlagen beide Hände benötigt werden.

Ein weiteres Beispiel für Rang 4 ist das Justieren eines Endschalters, bei dem der Endschalter mit einer Hand gehalten und mit der anderen, mit Hilfe eines Werkzeugs, befestigt werden muss. Rang 4 ist auch anzuwenden, wenn eine Person zwecks Instandhaltungsarbeiten auf einer Leiter steht und mit einer Hand an der Maschine oder Anlage (bei eingeschalteter oder laufender Maschine oder Anlage) arbeiten muss. Mit der zweiten Hand hält sie sich fest, um nicht abzustürzen.

Anmerkung: Bleibt eine Hand frei, ist zumindest die Verwendung eines Zustimmschalters gemäß Rang 3 möglich und damit erforderlich.

Liegen entsprechende Ausnahmefälle entsprechend Rang 4 vor, sind jedoch geeignete organisatorische und personelle Maßnahmen zwingend zu treffen:

- Unternehmerinnen oder Unternehmer müssen die für Rang 4 speziell notwendigen Sicherheitsmaßnahmen ermitteln und dafür sorgen, dass sie eingehalten werden.
- Mit entsprechenden Arbeiten dürfen nur geeignete Personen beauftragt werden, die im Stande sind, etwa entstehende Gefahren zu erkennen und abzuwenden.
- Die Beschäftigten müssen über die Gefahren, die sich aus den speziellen Instandhaltungsarbeit in Rang 4 ergeben, gesondert unterrichtet sein.
- Für das Verhalten der Instandhalter beim Auftreten von Unregelmäßigkeiten und Störungen müssen exakte Anweisungen erteilt werden.
- In einigen Fällen ist eine Person zu bestellen, die den Fortgang der Arbeiten beobachtet und bei akuter Gefahr geeignete Maßnahmen ergreift.

3. Zusammenfassung

Die Unfallzahlen bei der Instandhaltung von Maschinen und Anlagen sind sehr hoch. Diese müssen reduziert werden. Es existiert eine Methode zur Reduzierung der Unfälle. Diese Methode ist bereits in Vorschriften gegossen. Sie muss jedoch in der Praxis angewendet werden – sie muss bekannter werden. Die Maßnahmen der Methode lassen sich in Abhängigkeit von den erzielbaren Schutzwirkungen in 4 Ränge unterteilen. Aufgabe der Unternehmer sowie der betrieblichen Vorgesetzten ist es, für die einzelnen Phasen der Instandhaltungstätigkeiten festzulegen, welcher Rang der Schutzmaßnahmen jeweils notwendig ist. Bei Einhaltung der Bedingungen der 4-Rang-Methode lassen sich die Unfälle nachhaltig reduzieren.

4. Literatur

DGUV Information 209-015 Instandhaltung – sicher und praxisgerecht durchführen (Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung / Berufsgenossenschaft Holz und Metall; früher BGI 577); siehe Hartung et al. (aktuell 2018/23).

Hartung, P. (2003) Vorlesung Master „Arbeitssicherheits- und Gesundheits-Management“, Hochschule RheinMain, Rüsselsheim am Main.

Hartung, P., Mushardt, H., Günther, Ch., Amend, G. (aktuell 2018/23) DGUV Information 209-015 Instandhaltung – sicher und praxisgerecht durchführen (Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung / Berufsgenossenschaft Holz und Metall; früher BGI 577).

Hartung, P. (2026) Vorlesung Bachelor „Sicherheitstechnik und Gesundheitsschutz“ Hochschule RheinMain, Rüsselsheim am Main.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Analysis of the Risk of Head Injury When Falling Backward Using an Anthropomorphic Dummy

Hideki OYAMA, Hiroyasu IKEDA

National Institute of Occupational Safety and Health, Japan
1-4-6 Umezono, Kiyose, Tokyo 204-0024 Japan

Abstract: We evaluated head injury risk during backward falls using an anthropomorphic dummy equipped with tri-axial accelerometers and angular rate sensors. Specifically, we examined linear and rotational impacts under three conditions: no protection, soft headguard, and industrial helmet. The head injury criterion (HIC_{15}) and brain injury criterion (BrIC) were calculated. In unprotected falls, the recorded values exceeded established injury thresholds for HIC_{15} and BrIC, indicating a high risk of severe head injury. Although protective devices reduced these values, the scores remained above safe limits. Video analysis revealed head rotation following the impact of the buttocks and shoulders, leading to neck flexion. These findings underscore the need for improved protective devices and educational initiatives regarding safer fall techniques.

Keywords: fall, head injury, headgear, head injury criterion, brain injury criterion, rotational impact

1. Background and Objective

Fall-related injuries are increasingly common in Japanese workplaces, particularly in the retail and social welfare sectors, a trend attributable in part to the growing number of middle-aged and older female workers. Although falls often result in fractures of the wrist or pelvis, head injuries are particularly critical because they can be life-threatening, necessitating effective measures to prevent falls and protect the head.

Direct measurement of head impacts in humans is ethically and practically challenging; consequently, anthropomorphic dummies and numerical simulations are widely employed. The Hybrid III adult male dummy has been shown to accurately replicate cadaveric head responses (Mertz 1985). Studies using dummies to simulate forward, backward, and lateral falls indicate that backward falls generate the highest head impacts, leading to head injury criterion (HIC) values and forces that potentially reach lethal levels (Hajiaghamemar et al. 2015). Similarly, numerical simulations of real-world falls suggest that backward falls produce linear accelerations sufficient to cause cerebral contusions (Doorly et al. 2005).

Brain injury following head trauma generally arises from two mechanisms: translational and rotational motion (Miyagi et al. 2013). When the head is struck, coup injuries—such as scalp damage and skull fractures—occur beneath the impact site. Subsequently, the skull moves in the opposite direction while the brain, due to inertia, momentarily remains in place; this generates negative pressure, resulting in contrecoup injuries, such as acute subdural hematomas or cerebral contusions. These injuries are common in low-energy events, such as falls. Conversely, high-energy trauma, such as that from motor vehicle collisions, induces substantial rotational

acceleration, generating strain and shear stress within brain tissue and potentially leading to diffuse brain injury. Although linear impacts associated with falls have been relatively well studied, the influence of rotational impacts remains insufficiently explored.

We aimed to quantitatively evaluate the risk of head injury during backward falls using an anthropomorphic dummy, specifically by analyzing both linear and rotational impacts. Additionally, we assessed the impact-mitigation effects of hard and soft head-protection devices.

2. Method

2.1 Instruments

We developed a fall testing system comprising an anthropomorphic dummy equipped to record head impacts, a high-speed camera, and a release mechanism. A signal generator synchronized all components to enable the simultaneous initiation of dummy release, data acquisition, and video recording.

We used a Hybrid III 50th percentile male pedestrian dummy (height: 175 cm, weight: 78 kg; JASTI, Tokyo, Japan) (Figure 1). We mounted three accelerometers (7264H-2KTZ-360, ENDEVCO Inc., NC, USA) and three angular rate sensors (ARS PRO-8K, DTS Inc., CA, USA) inside the head of the dummy to measure the six degrees of freedom of head motion. The measurement ranges were ±2000 g for the accelerometers and ±8000 deg/s for the angular rate sensors. We recorded linear acceleration and angular velocity at 20 kHz and filtered the data using a CFC1000 filter. All sensors were mounted at the head's center of gravity, as specified by National Highway Traffic Safety Administration (1997).

We installed a compact data acquisition system (SLICE NANO BASE+), amplifier module (SLICE NANO BRIDGE), and battery unit (SLICE NANO Stack Battery) (all manufactured by DTS Inc., CA, USA) in the chest, thereby integrating all sensors and wiring within the dummy. We acquired data using a notebook PC (ThinkPad, Lenovo, Beijing, China) with dedicated software (SLICEWare, DTS Inc., CA, USA). A magnetic connector cable allowed for automatic detachment at the onset of the fall to prevent equipment damage; consequently, the dummy switched from external AC power to its internal battery upon release. Data were recorded to the dummy's internal memory

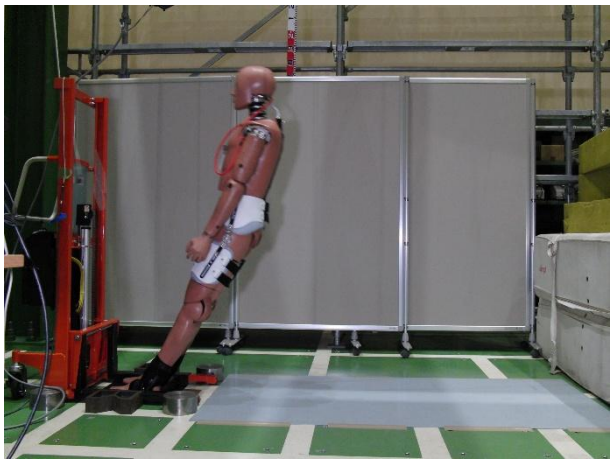


Figure 1: *Backward fall experiment using an anthropomorphic.*

and subsequently transferred to the PC. A high-speed camera (PH-1451/300, Q'SFIX CO., LTD., Tokyo, Japan), synchronized with the dummy's internal sensors, captured the fall motion at a sampling rate of 120 Hz.

(2)

2.2 Experimental Conditions

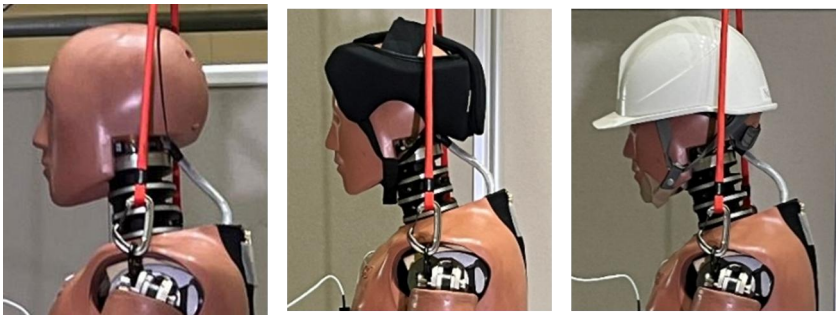
We conducted the experiment at a room temperature of 20 °C and 32% relative humidity. We subjected the dummy to backward falls from a standing position under three conditions:

(1) without head protection,
(2) with a soft headguard (Headguard Fit, Kiyota & Co., Ltd., Tokyo, Japan), and
(3) with a helmet (industrial safety helmet SC-11B, MIDORI ANZEN CO., LTD., Tokyo, Japan) (Figure 2).

The soft headguard featured a polyester outer shell and a two-layer EVA impact-absorbing liner of varying hardness. The helmet consisted of an ABS resin shell, an internal liner, and a suspension system; notably, the rear edge was folded inward to provide occipital protection.

To simulate severe impact conditions, we placed a steel plate on top of a concrete floor. We fixed the dummy's hip and ankle joints to minimize instability and prevent lateral deviation. We conducted three trials for the no-protection condition and used the maximum values as representative results. For the headguard and helmet conditions, we performed one trial each.

We positioned the dummy to enable a natural backward fall driven by gravity. First, we attached slings to both shoulders and lifted the dummy using a crane to maintain an upright posture. Next, we inclined the dummy 5° backward. Finally, pressing the start key automatically released the slings, thereby initiating the fall and simultaneously triggering data recording and video capture.



a b c

Figure 2: *Experimental conditions. a: No head protection; b: Headguard; c: Industrial helmet.*

2.3 Evaluation Metrics

We adopted the head injury criterion (HIC), derived from linear acceleration, as the primary evaluation metric (Eppinger et al. 1999). Equation (1) defines this criterion.

$$\text{HIC} = max\left\{(t_2 - t_1)\left[\frac{1}{t_2 - t_1}\int_{t_1}^{t_2} a(t)\ dt\right]^{2.5}\right\} \quad (1)$$

where a(t) is the tri-axial resultant acceleration, calculated as

$$a(t) = \sqrt{a_x^2(t) + a_y^2(t) + a_z^2(t)}$$

Here, $a_x(t)$, $a_y(t)$, and $a_z(t)$ are the acceleration components along the x-, y-, and z-axes of the head, while t_1 and t_2 represent the integration interval's start and end times. We calculated HIC via computer-based optimization, which selects t_1 and t_2 to maximize the value in Equation (1). HIC is defined by the integration duration as either HIC_{36} (<36 ms) or HIC_{15} (<15 ms). We selected HIC_{15} for this study because the acceleration duration associated with skull fractures is short. We applied the standard HIC_{15} threshold of 700. A HIC_{15} value of 700 corresponds to a 31% probability of skull fracture in an average male (Eppinger et al. 1999).

Furthermore, we employed the brain injury criterion (BrIC), derived from angular velocity, to assess rotational impact (Takhounts et al. 2013). Equation (3) expresses the BrIC formula.

$$\text{BrIC} = \sqrt{\left(\frac{\omega_x}{\omega_{xc}}\right)^2 + \left(\frac{\omega_y}{\omega_{yc}}\right)^2 + \left(\frac{\omega_z}{\omega_{zc}}\right)^2} \quad (3)$$

Here, ω_x, ω_y, and ω_z represent the maximum angular velocities about the head's x-, y-, and z-axes, respectively; ω_{xc}, ω_{yc}, and ω_{zc} are angular velocity constants specific to the dummy type. We adopted the standard BrIC threshold of 1, which corresponds to a 30% probability of diffuse axonal injury (Takhounts et al. 2013).

We computed HIC_{15} and BrIC using dedicated software (TrackReport, ORME, Labège, France).

3. Results

Table 1 summarizes the head impact metrics. In the unprotected condition, the resultant acceleration reached 594 G, HIC_{15} measured 5223, and BrIC was 1.14; these were the highest values observed across all conditions. With the headguard, resultant acceleration decreased to 362 G, HIC_{15} to 2700, and BrIC to 1.10. With the helmet, resultant acceleration was 374 G, while HIC_{15} and BrIC were further reduced to 2438 and 1.07, respectively. We observed deformation at the helmet's rear edge, a mechanism that contributed to energy absorption.

Figure 3 illustrates the sequence of head and neck motion during impact for each condition. In all cases, head contact occurred after buttocks and shoulder impact, followed by a rebound motion.

Table 1: *Head impact metrics under different head-protection conditions.*

Head protection	Resultant acceleration (G)	HIC_{15}	BrIC
None	594	5223	1.14
Headguard	362	2700	1.10
Helmet	374	2438	1.07

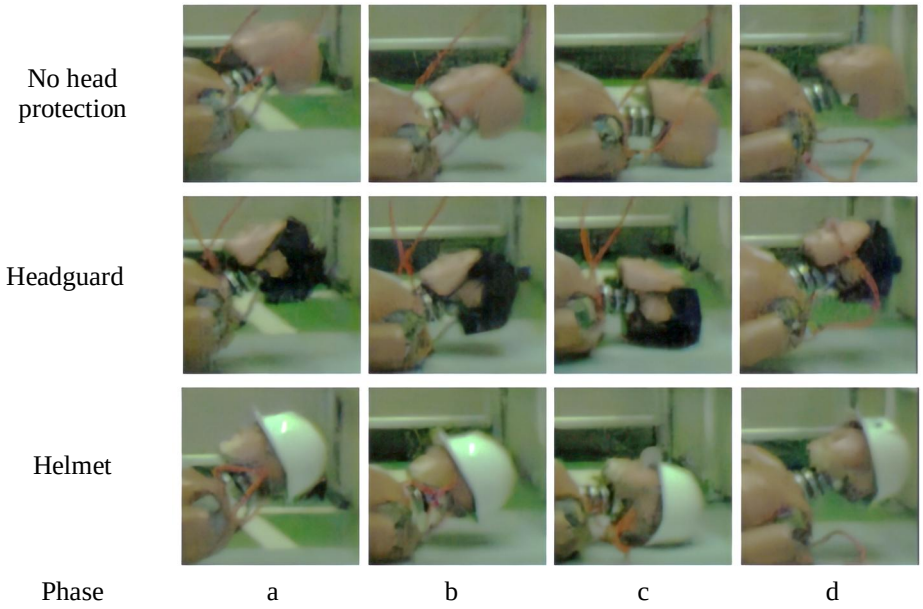


***Figure 3**: Sequence of head and neck motion during backward fall impact captured via high-speed camera. a: Pre-impact, with buttocks contacting the ground; b: Shoulder rebound.*

4. Discussion

Hajiaghamemar et al. (2015) reported a mean HIC_{15} of 4142 (range: 3182–5046) for backward falls using a similar dummy. In our study, we observed a slightly higher HIC_{15} of 5223 in the unprotected condition; however, the magnitude remains comparable, supporting the plausibility of these findings. This value far exceeds the commonly accepted threshold of 700, indicating an extremely high risk of fatal head injury according to the Abbreviated Injury Scale (Eppinger et al. 1999).

Additionally, BrIC exceeded by 1.0, suggesting a substantial risk of rotational brain injury. The observed motion pattern initial buttock and shoulder contact, subsequent neck extension leading to head impact, and final neck flexion likely contributed to the elevated BrIC values, indicating considerable rotational loading.

Headguards and helmets substantially reduced HIC_{15} and BrIC values, yielding decreases of 48% and 53%, respectively. Nevertheless, despite these reductions, the values still exceeded critical thresholds specifically, HIC_{15} remained above 2000 highlighting the limitations of current protective devices. Therefore, future head-protection designs must address linear and rotational accelerations and undergo experimental validation. Airbag-type devices, such as the Hövding (Abayazid et al. 2021), provide effective protection but are costly and require maintenance. Consequently, affordable, simpler alternatives are required. Technologies such as the Multi-directional Impact Protection System (MIPS), currently used in bicycle helmets (Bland et al. 2020), may provide valuable insights for mitigating rotational impacts.

In addition to improved equipment, educational strategies could further reduce injury risk. For instance, instructing individuals to flex the neck during a fall may mitigate head injury severity when protective equipment alone is insufficient. Thus, combining behavioral guidance with improved protective design may offer a comprehensive approach to preventing severe injuries.

Our study has certain limitations. First, the dummy's steel head interior is significantly stiffer than a human head, which may lead to an overestimation of HIC. Second, the dummy is designed for frontal crashes; consequently, its head–neck dynamics including the slight forward tilt of the neck may differ from those of humans. Third, we assumed worst-case conditions, such as fixed hip and ankle joints and a steel floor. In real-world falls, defensive actions such as landing on the buttocks, using the hands, or trunk flexion as well as shock-absorbing flooring, could mitigate head impact.

5. Conclusion

Backward falls pose a high risk of severe head injury, a risk that current occupational headgear may fail to sufficiently mitigate. Therefore, we strongly recommend developing improved protective devices and educating workers on protective postures, such as neck flexion.

6. References

Abayazid F, Ding K, Zimmerman K, Stigson H, Ghajari M (2021) A new assessment of bicycle helmets: the brain injury mitigation effects of new technologies in oblique impacts. Annals of Biomedical Engineering 49(10):2716–2733.

Bland ML, McNally C, Zuby DS, Mueller BC, Rowson S (2020) Development of the STAR evaluation system for assessing bicycle helmet protective performance. Annals of Biomedical Engineering 48(1):47–57.

Doorly M, Phillips J, Gilchrist M (2005) Reconstructing real life accidents towards establishing criteria for traumatic head impact injuries. In: Gilchrist MD (Ed) IUTAM Symposium on Impact Biomechanics: From Fundamental Insights to Applications. Solid Mechanics and Its Applications, Volume 124. Dordrecht: Springer, 81–90.

Eppinger R, Sun E, Bandak F, Haffner M, Khaewpong N, Maltese M, Kuppa S, Nguyen T, Takhounts E, Tannous R, Zhang A, Saul R (1999) Development of improved injury criteria for the assessment of advanced automotive restraint systems: II. Washington, DC: NHTSA, 1–143.

Hajiaghamemar M, Seidi M, Ferguson JR, Caccese V (2015) Measurement of head impact due to standing fall in adults using anthropomorphic test dummies. Annals of Biomedical Engineering 43(9):2143–2152.

Mertz H (1985) Biofidelity of the Hybrid III Head. SAE Technical Papers 94(5):97–105.

Miyagi T, Maeda M, Inoue Y, Kondou D, Yoshimura F, Ookura A, Morioka M (2013) Acute therapy for traumatic head injury. The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine 50(7):557–569.

National Highway Traffic Safety Administration (1997). Parts list and drawings, Subpart E, Hybrid III 50th percentile male. Washington, DC: NHTSA.

Takhounts EG, Craig MJ, Moorhouse K, McFadden J, Hasija V (2013) Development of Brain Injury Criteria (BrIC). Stapp Car Crash Journal 57(1):243–266.

Explorative Analyse des Einflusses von Schutzwesten auf die Sitzposition in taktischen Fahrzeugen

Jonas Imbsweiler, Adrian Mazzoldi, Martin Seeger

Rheinmetall Landsysteme GmbH
Henschelplatz 1, D-34127 Kassel

Kurzfassung: Das Tragen von persönlicher Schutzausrüstung kann zu Zielkonflikten zwischen der Ausrüstung und dem Sitz führen. Zur Bestimmung des Ausmaßes stellt sich die Frage, welche Auswirkungen das Tragen einer Schutzweste auf die Sitzposition, bzw. den H-Punkt und Komfortwinkel hat. Zur Beantwortung der Frage wurden in verschiedenen Fahrzeugumgebungen, unterschiedliche Schutzwesten an einer H-Punkt-Messmaschine angebracht und untersucht. Die Messung erfolgte nach der SAE J 826. Erfasst wurden H-Punkt-Verschiebungen in X- u. Z-Richtung sowie Sitzkomfortwinkel. Aus den Versuchen folgt, dass die Sitzhaltung mit Schutzweste aufrechter wird und sich der H-Punkt zum Sitz hin verschoben hat. Ab einem bestimmen Westentyp kehrt sich der Effekt um, und der Insasse rutscht weiter aus dem Sitz.

Schlüsselwörter: Sitzposition, H-Punkt-Versatz, Sitzreferenzpunkte, Gelenkwinkeländerungen, Schutzausrüstung, Digitale Menschmodellierung

1. Einleitung

In taktischen Fahrzeugen ist die Möglichkeit die persönliche Schutzausrüstung (PSA) sitzend zu tragend eine Kernanforderung. Somit müssen die Sitzsysteme sicherstellen, dass Insassen mit und ohne PSA darauf sitzen können. Um dies zu ermöglichen muss untersucht werden auf welche sitzspezifischen Referenzpunkte die PSA einen Einfluss hat. Als einer der wesentlichen Punkte, kann der Hüftreferenzpunkt (H-Punkt) verwendet werden (Bubb et al., 2015)

Im taktischen Kontext zeigt die Studie von Reed und Ebert (2013) eine Änderung der Sitzposition auf, sofern die Versuchspersonen ballistische Schutzwesten tragen. Dies wird in RAMSIS ebenfalls abgebildet, allerdings zeigen sich hierbei bereits Unterschiede bei dem Einfluss der Schutzwesten. Liegt tatsächlich eine Änderung der Sitzposition bzw. des H-Punktes vor, können Zielkonflikte zwischen den ergonomischen Anforderungen an den Sitz und der PSA sowie weiteren Elementen des Arbeitssystems entstehen.

Während verschiedener Untersuchungen wurde der Einfluss von Schutzwesten auf Nutzer an einem Arbeitsplatz in taktischen Fahrzeugen ermittelt. Hierzu wurden Gelenk- und H-Punkt Messungen in unterschiedlichen Versuchsumgebungen und mit unterschiedlichen Schutzwesten durchgeführt. Anhand der bestimmten Werte soll folgend der Einfluss von Schutzwesten (H-Punkt Versatz und Gelenkwinkel-änderungen) und mögliche weitere Einflussfaktoren bestimmt werden.

2. Theorie

Die Studie von Reed und Ebert (2013) beschäftigt sich mit der Sitzposition von Nutzern an verschiedenen Sitzplätzen in einem militärischen Fahrzeug. Hierbei werden auch verschiedene Stufen von PSA betrachtet und bei den Versuchen berücksichtigt. Ein Versuchsaufbau stellt einen Fahrerarbeitsplatz dar, wobei bei den folgenden Versuchen Probanden, mit variierender PSA, eine für sie angenehme Sitzposition einstellten. Aus den ermittelten Werten wurde schließlich ein Regressionsmodell zur Vorhersage der Sitzposition erstellt. Weiterhin wird der Einfluss der PSA auf den H-Punkt in X-Richtung mit festen Werten, je nach Grad der Ausrüstung, angegeben. Dabei zeigt sich, dass mit steigender Tiefe der Ausrüstung am Rücken, ein größerer Abstand zwischen H-Punkt und Sitzrückenlehen entsteht. Die Studie berücksichtigt aber nur eine Sitzposition und einen Westentyp, sodass die Aussagekraft nur für das gewählte Szenario eine Gültigkeit besitzt.

Von der Menschmodellierung kommend kann dies auch mittels RAMSIS untersucht werden, welche militärische Bekleidung berücksichtigen kann. Hier wird der H-Punkt-Versatz als geometrischer Offset betrachtet und wächst analog des Westenaufbaus.

In der Auslegung hat sich gezeigt, dass ein angenommener Versatz des H-Punktes, welcher die Größe der Tiefe der Weste abbildet nicht der Realität im Fahrzeug entspricht. Dies soll im Folgenden untersucht werden. Bei Reed & Ebert (2013), wurde sowohl Sitz-Fläche als auch Rückenlehne konstant gehalten. Als ersten Anhaltspunkt dient somit die Variation der Westen und des Rückenlehnenwinkels. In einem ersten Schritt sollen die Ergebnisse bei konstantem Rückenlehnenwinkel und unterschiedlichen Westen untersucht werden und in einem zweiten Schritt bei variierendem Winkel.

3. Methodik und Versuche

Die Bestimmung der Sitzposition erfolgt durch die Ermittlung der H-Punkt Position in Relation zum Raum und durch das Messen der relevanten Gelenkwinkel. Um entsprechende Werte messen zu können, wird eine H-Punkt Messmaschine in dem Versuchsaufbau, auf dem Sitz, nach SAE J826 Norm, platziert (siehe Abbildung 1). Die Messmaschine bildet den H-Punkt ab, wodurch die Distanz zu definierten Referenzflächen in Fahrtrichtung (X-Richtung) und Hochachse (Z-Richtung) gemessen werden kann. Außerdem gibt es Messstellen für die Komfortwinkel zwischen Torso und einer imaginären Senkrechten (A1), zwischen Torso und Rumpf (A2) sowie zwischen Rumpf und Unterschenkel (A3). Die Position der Sitzfläche bleibt bei den Versuchen konstant, während die Stellung der Sitzrückenlehne, die dargestellte PSA sowie die betrachteten Perzentile eines Nutzers, je nach Versuchsvariante, variieren. Als Perzentil wurde das 50. Perzentil nach Hde ausgewählt.

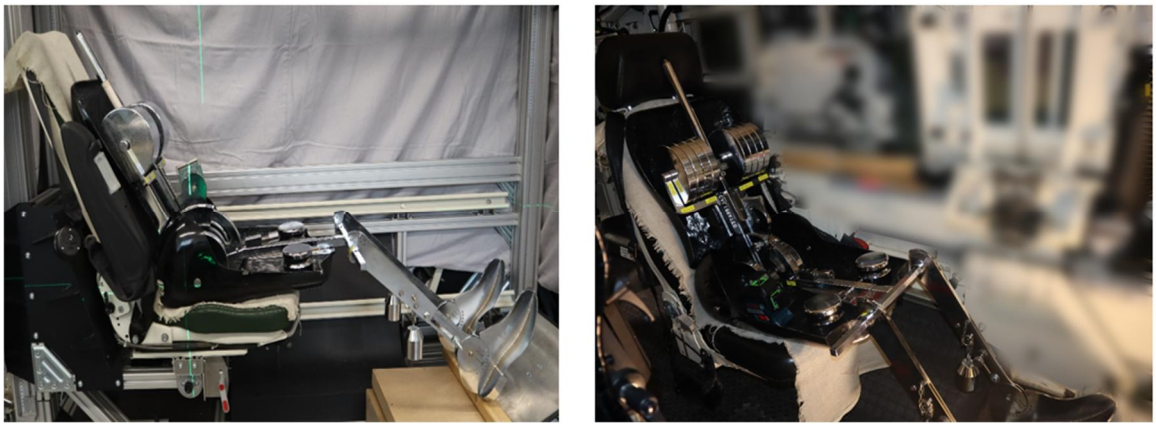


Abbildung 1: *Versuchsaufbauten mit H-Punkt Messmaschine in dem Sitzlabor (links) und in einem Fahrzeug (rechts).*

Es wurden in unterschiedlichen Versuchsumgebungen und somit auf verschiedenen Sitzen Messungen durchgeführt. Untersuchung 1 fand in einem Fahrzeug statt. Untersuchung 2 in einem Sitzlabor, welches die Konturen eines Fahrzeuginnenraums abbildet, statt.

Die betrachtete PSA besteht aus drei Westen-Typen, wobei zwei davon realer Ausrüstung (Mobast = W1, Idz 2 = W2) nachempfunden waren und der weitere Westentyp ein statischer, geometrisch vereinfachter Körper (=T50) ist, welcher sich in Höhe, Breite und Tiefe ebenfalls an genutzter Ausrüstung orientiert, tendenziell aber etwas größer dimensioniert ist (Siehe Abbildung 2).

Abbildung 2: *Schutzweste in Anlehnung an reale Ausrüstung, in den Ergebnissen als W1 (links), W2 (mitte) sowie der statische Nachbau mit einer Tiefen von 50mm (T50) (rechts).*

4. Ergebnisse

Folgend werden die für die Diskussion relevantesten Ergebnisse dargestellt. Zunächst der H-Punkt Versatz in X-Richtung bei konstanter Rückenlehne aus Untersuchung 1 und 2. W1 zeigt einen H-Punkt Versatz zu dem Sitz hin, W2 und T50 einen Versatz von dem Sitz weg (siehe Abbildung 3).

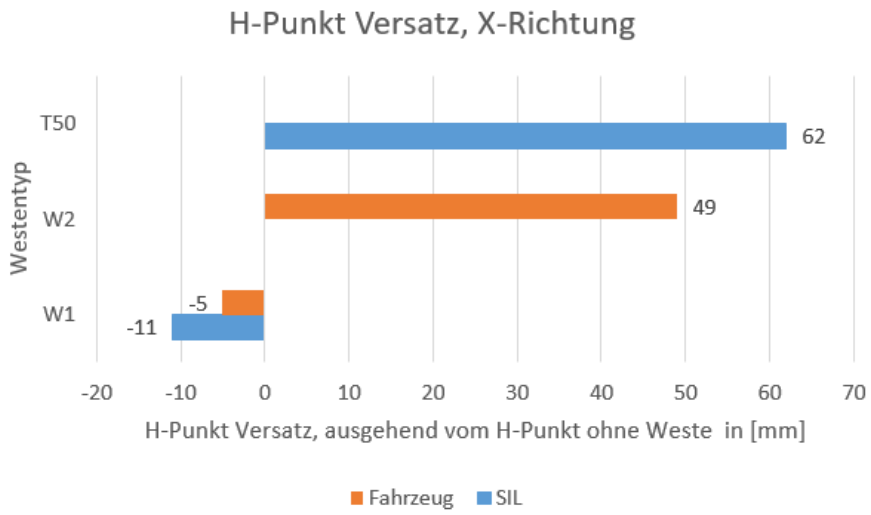


Abbildung 3: *H-Punkt Versatz in X-Richtung, beider gezeigten Westen in verschiedenen Umgebungen, gemessen in [mm].*

Folgend die Gelenkwinkeländerungen der Winkel A1 und A2 bei konstanter Rückenlehne (siehe Abbildung 4).

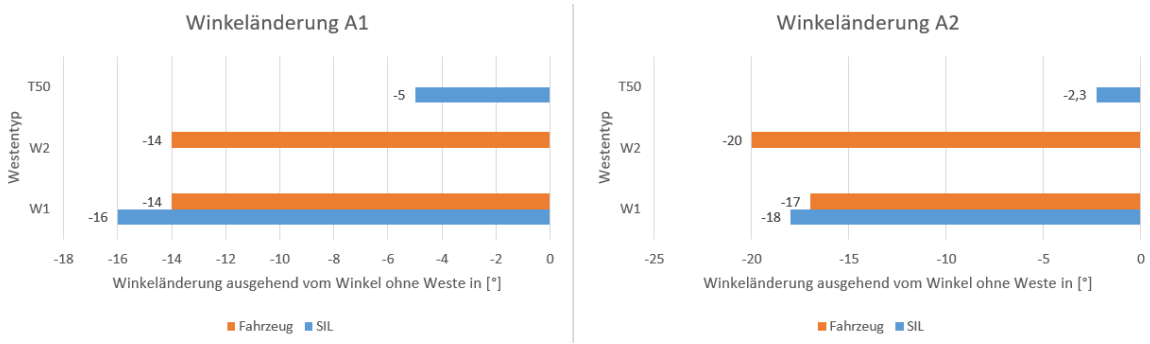


Abbildung 4: *Winkeländerungen der Winkel A1 und A2 mit beiden gezeigten Westen, in unterschiedlichen Umgebungen, gemessen in [°].*

5. Diskussion

Der aus den Versuchen resultierende H-Punkt Versatz ist in X- und Z-Richtung von dem gewählten Perzentil, der Westendimension und weiteren daraus resultierenden Einflussfaktoren, wie der Kontaktfläche zum Sitz sowie der Lehnenneigung abhängig. Dies zeigt sich auch für die Gelenkwinkel A1 und A2.

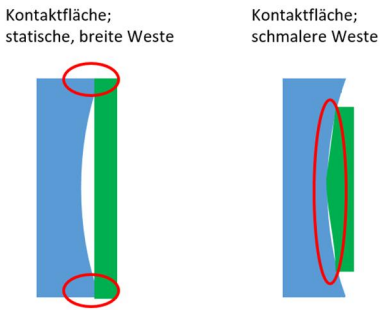


Abbildung 5: *Kontaktflächen der Schutzweste mit der Sitzlehne.*

Aus den ermittelten Werten folgt, dass die Verwendung von Schutzwesten mit geringer Tiefe am Rücken und einer zentralen Kontaktfläche auf der Sitzlehne, die Sitzposition deutlich aufrechter wird und der Abstand des Gesäßes zur Rückenlehne geringer wird. Vergrößert sich die Tiefe der Weste, bei gleicher Kontaktfläche, vergrößert sich der Abstand zur Rückenlehne, allerdings nicht entsprechend der Westentiefe, sondern ist geringer und entspricht ca. 1/3 der Westentiefe. Ist die Schutzweste statisch und breiter, wodurch die Kontaktfläche zum Sitz durch die Aufwölbungen an der Lehne zur seitlichen Führung definiert ist, vergrößert sich der Abstand des Nutzers zur Rückenlehne mehr, als die Weste tief ist. Darüber hinaus vergrößert sich der Abstand mit steigendem Lehnenwinkel und der Nutzer sitzt höher. Die Haltung des Nutzers wird ebenfalls aufrechter, allerdings in geringerem Ausmaß als mit den anderen Westentypen (siehe Abbildung 6).

Abbildung 6: *Veränderung der Sitzposition aufgrund der angelegten PSA.*

Weitere Einflussfaktoren auf die Sitzposition, wie z. B. das Material des Sitzes, wurden nicht berücksichtigt.

Im Vergleich zwischen den Ergebnissen der Versuche und den Resultaten von Reed und Ebert (2013) sowie dem dargestellten Einfluss durch Schutzwesten von RAMSIS zeigen sich sowohl Überschneidungen, als auch Wiedersprüche. Die sich aus dem Modell von Reed und Ebert ergebende Werte entsprechen in Ihrer Tendenz den Ergebnissen zu Untersuchung 2. Die Einflussdarstellung, einer Weste auf die Sitzposition, von RAMSIS wird bei keinen Versuchsergebnissen abgebildet. Es sind zwar Konstellationen im Versuchsaufbau möglich, die einen H-Punkt Versatz entsprechend der Westentiefe abbilden, allerdings kann diese Einflussdarstellung nicht grundsätzlich angenommen werden.

Im Fahrzeug hat die veränderte Sitzposition Einfluss auf Funktionsräume und Sichtfelder. Weiterhin können Vorgaben bzgl. Komfort oder Sicherheit nur bedingt erfüllt werden.

6. Fazit

Die Theorie sowie die Ergebnisse der hier durchgeführten Versuche zeigen, dass die Verwendung von PSA direkten Einfluss auf Sitzposition eines Nutzers hat. Dieser Einfluss äußert sich in einem H-Punkt Versatz in X- und Z-Richtung sowie in Gelenkwinkeländerungen. Das Ausmaß des Einflusses wird hierbei maßgeblich von weiteren Einflussfaktoren neben der Tiefe der PSA beeinflusst. Hierzu zählen die Kontaktfläche zum Sitz, der Lehnenwinkel, die Größe des Nutzers sowie der verfügbare Bauraum im Fahrzeug, bzw. das Arbeitssystem, in welchem der Nutzer Arbeitet. Zusammengefasst werden die Einflussfaktoren und Auswirkungen in dem abgeleiteten Sitz und Equipment Modell dargestellt (siehe Abbildung 7).

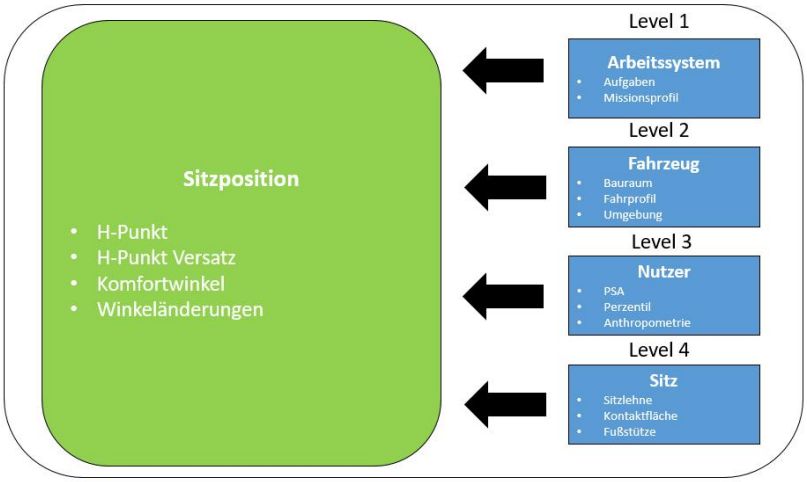


Abbildung 7: *Sitz und Equipment Modell mit In- und Outputs bzgl. der Sitzposition.*

Ausgehend von dieser Arbeit ergibt sich viel Potenzial für weitere Untersuchungen und Arbeiten. Es kann untersucht werden, wie sich der Einfluss auf Sitzposition reduzieren lässt und welche weiteren Einflussfaktoren Auswirkungen haben. Schlussendlich besteht die Möglichkeit, Sitze, Arbeitssysteme und Anforderungen anzupassen und zu verbessern.

7. Literatur

Bubb H, Bengler K, Grünen R, Vollrath M (2015) Automobilergonomie
Reed M P, Ebert S M (2013) The seated soldier study: posture and body shape in vehicle seats.
Human Accom and Design Devices Stds Comm. Devices for Use in Defining and Measuring Vehicle Seating Accommodation: SAE J 826. SAE International.
Schmidtke, H (2013) Handbuch der Ergonomie: HdE, mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien und Methoden

Seeing Safety in the Field: Analytics of Visibility-Aid Use in Heavy Machinery Operation

Shuaixin QI[1], Peter NICKEL[2], Andy LUNGFIEL[2], Marino MENOZZI[3], Carlo MENON[1]

[1] Biomedical and Mobile Health Technology Lab, ETH Zürich
Lengghalde 5, CH-8008 Zürich
[2] Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA), Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin
[3] Human Factors Engineering Group, ETH Zürich
Scheuchzerstrasse 7, CH-8092 Zürich

Abstract: Pedestrian collisions with mobile heavy machinery remain a critical safety concern. However, how operators utilize visibility aids under operational constraints is still insufficiently investigated. We present an ongoing naturalistic field study designed to capture visibility-aid use, visual information acquisition, and workload-relevant correlates during routine excavator operation with minimal intervention. We conducted two observational deployments at active operational sites in Germany. Synchronized multi-modal data include mobile eye tracking, wrist-worn psychophysiology, multiple context videos, maneuver labels, interval-based workload ratings and post-study interviews. Preliminary insights suggest the need for triangulation under field constraints and highlight substantial consequences of site-specific variability on safety monitoring.

Keywords: occupational safety and health, mobile heavy machinery, visibility aids, human performance, human machine interaction

1. Introduction

Collisions between mobile heavy machinery and pedestrians remain a persistent safety challenge in construction and industrial settings, often resulting in severe injuries, fatalities, and substantial economic losses. Struck-by incidents remain a major contributor to construction mortality and injury burden, and a key mechanism is worker interaction moving equipment in dynamic work zones (DGUV, 2024; Kazan & Usmen, 2018). A major contributor is restricted visibility from the operator's cabin (Hinze & Teizer, 2011). Visibility aids such as mirrors and more recently, camera monitor systems (CMS) were designed to address this issue. Despite their widespread adoption, it is still not well understood how operators acquire visual information in real work, how they integrate CMS and mirrors with direct vision, and which operational contexts induce the largest demands on visual attention and workload (Koppenborg et al., 2016b).

Prior work has provided important but partial insights. In a rapid image-based detection task, operators showed substantial non-detection and overconfidence in their detection ability (Jegen-Perrin et al., 2016). Other studies have examined hazard detection or visual acquisition in more controlled simulated or maneuver-specific contexts (Koppenborg et al., 2016b; Li et al., 2020), while separate work has explored workload prediction from physiological signals during artificial tasks (Mehmood et al.,

2023). However, these approaches typically occur under conditions that do not fully capture the realistic constraints of machine operations. In-situ field evidence remains comparatively scarce. This scarcity is not accidental: safety constraints, limited experimental control, and the difficulty of obtaining high-quality labels during safety-critical maneuvers all raise the barrier for real-world studies.

To address these gaps, we are conducting an ongoing observational field study that combines (1) systematic, real-time coding of operator activities, (2) mobile eye-tracking to quantify visual information acquisition, (3) wearable psychophysiological sensing to capture workload-relevant correlates, and (4) multiple ratings and post-hoc qualitative feedback. Because naturalistic field studies of visibility-aid use are comparatively rare, and the project is still ongoing, the current paper focuses on outlining the study approach and reporting early insights from initial deployments. To constrain the scope and ensure comparability, the study focuses on mobile excavators.

The present study contributes:

1. A field protocol and multi-modal dataset to characterize mirror/CMS/direct-view usage during everyday mobile machinery work
2. Preliminary findings and methodological lessons on how eye movement behavior, wearable signals, and workload ratings can be combined under real-world constraints
3. A planned analysis pipeline, including gaze-based monitoring metrics and exploratory multimodal modeling to relate operational context to workload ratings and monitoring-demand proxy measures

2. Methods

To examine how visibility aids are used during real work, we conducted minimally intrusive field studies at operational sites. All recordings were designed to preserve operators' standard procedures and comply with on-site safety constraints. The protocol was approved by the ETH ethics committee (25-ETHICS-142), and all participants provided written informed consent.

2.1 Sites and participants

Operators of mobile machinery were recruited via outreach to operational sites through the project network. Project flyers were distributed, and interested sites were contacted. Sites were selected to capture typical operational complexity, including (1) operations with at least one mobile excavator equipped with CMS (2) co-workers in the surrounding area, (3) physical obstacles that could occlude the direct line of sight, and (4) work that required maneuvering across the area, such that pedestrian-relevant monitoring demands arose as part of routine tasks.

Inclusion criteria for operators were: (1) qualified and fit to perform excavator operations on-site, (2) more than 3 years of experience operating mobile machinery, and (3) no history of eye surgery or known eye movement/alignment abnormalities.

2.2 Study procedure

Data collection followed a two-day protocol at each site, with recording conducted on two consecutive working days to reduce novelty effects and capture potential behavioral adaptation. Each day followed the same macro-structure: (1) preparation,

(2) naturalistic recording, and (3) closing. Details about different measurements are presented in the next subsection.

Preparation: The experimenters arrived before the operator's shift to coordinate with the site-responsible person, inspected the work environment, and defined safe observation positions with direct visibility of the operating area. Recording equipment was installed and tested. All devices were time-synchronized and checked prior to recording. Participants were then briefed, fitted with wearables, and the eye tracker was attached and calibrated (Tobii AB, Sweden). A brief pre-study survey captured baseline information and machine parameters (e.g., model, CMS specifications, typical viewing distances).

Naturalistic recording: Operators worked as usual during standard hours, with experimenters remaining non-intrusive (i.e., no changes to tasks, routes, or site processes). Observations were made only from safe vantage areas. One experimenter logged pedestrian- and visibility-relevant maneuvers in real time using an event-logging system and predefined labels (e.g., reversing, turning, loading/unloading, occlusions). In parallel, another experimenter remotely monitored recording status and adjusted external scene camera angles as needed to maintain coverage without interrupting work.

Closing and Day 2: Recording ended at the close of the work period, after which wearables were removed and external units were demounted. The team clarified and documented contextual notes to support later interpretation (e.g., unusual site events, weather- or layout-related visibility constraints). Data streams were consolidated and backed up to secured network-attached storage. The same procedure was repeated on Day 2. A semi-structured post-study interview was conducted at the end.

2.3 Data collection modalities

A multi-modal dataset was collected to capture operator behavior in situ from complementary perspectives.

Video (scene/context): Multiple action cameras recorded operational context and visibility-aid usage (≥24 Hz, 4K, GoPro Hero 7, USA): (1) a tripod field camera covering the work area and surrounding traffic, (2) a mounted camera at the rear of the upper carriage capturing the rear area of the machine, (3) an in-cabin camera oriented toward the operator's face for later coding of gross head/upper-body movement and facial expressions, and (4) a camera positioned above the CMS display to capture on-screen content. Placement was adjusted as needed to preserve coverage while meeting site safety constraints.

Eye tracking: Visual behavior was recorded with a head-mounted eye tracker (Tobii Pro Glasses 3; 100 Hz). The system provides both gaze data and a synchronized scene video of what the wearer is looking at. Calibration followed manufacturer guidance using a manual one-point procedure with a marker card; recalibration was performed after breaks.

Wearable psychophysiology: Participants wore a wrist device (EmbracePlus, Empatica, USA) capturing signals relevant to workload/fatigue assessment (e.g., PPG at 64 Hz for pulse rate/pulse-rate variability, EDA at 4 Hz, peripheral skin temperature at 1 Hz, and inertial measurements).

Task labeling and observation: At least one experimenter labeled tasks and critical maneuvers in real time using a custom interface and an action taxonomy based on fundamental actions (Koppenborg et al., 2016a). Labels were time-synchronized to enable alignment with gaze, wearable signals, and video streams.

Questionnaires and ratings: Before recording, participants completed a survey on demographics and work experiences, visual acuity/corrective lenses, baseline sleepiness using the Karolinska Sleepiness Scale (KSS) (Shahid et al., 2011), and on usability of visibility aids using the System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1995). Machine-related information (e.g., machine type/model, CMS model/configuration, typical viewing distance) was documented.

In-field workload checks: A brief 1-5 Instantaneous Self-Assessment (ISA) (Tattersall & Foord, 1996) was collected repeatedly during recording via a pre-defined gesture protocol to avoid interrupting work.

Post-study interview: After Day 2, participants completed a semi-structured interview including mandatory prompts on challenges with visibility aids and desired design features. Questions focused on the observed work context, situations requiring intensified monitoring, site-specific constraints (e.g., occlusions, co-worker proximity, space limitations), and notable events during the recording days relevant for later analysis.

3. Results

So far, we have conducted two observational field studies at active sites in Germany in November 2025. Figure 1 shows the two sites with the corresponding machines under investigation. The dataset currently includes approximately 15 hours of synchronized multi-modal recordings.

Mixed operator compliance with the study setup was observed. The wearable devices were familiar in form factors and intuitive to fit, and the setup for them usually took less than 2 minutes. Neither participant wore corrective lenses, which simplified fitting and calibration and may have contributed to a high valid gaze-sample rate (mean valid gaze-sample rate: 93%). Since they do not normally wear glasses, both participants reported initial distraction due to the eye-tracking glasses. The second day aided acclimatization for the first operator; however, during the last ~30 minutes of recording the second operator noted feeling increasingly uncomfortable while wearing the glasses, so we ended data collection earlier.

In terms of data quality, the gaze data were good as described above. The eye-tracker scene camera alone, however, did not provide the resolution that we desired to analyze the visual content displayed on the CMS (e.g., identifying fine-grained on-screen objects). It was, however, sufficient to determine which part of the human-machine interface was visually attended and therefore suitable for area-of-interest-based analyses. The wristband data showed motion-related artifacts due to operating movements and body-transmitted vibrations, requiring post-processing.

The context cameras had mixed outcomes. They were helpful for recording the surroundings to complement other modalities. However, at the second site—where the mobile machine operated across multiple locations—it was challenging to capture the full scene from a single viewpoint, and the camera on a tripod required frequent re-adjustment. A 360° camera would have likely improved coverage, with the tradeoff of increased distortion and potentially reduced effective resolution for distant targets.

Despite testing in pre-studies, the annotation taxonomy turned out to be too challenging to be used in both operational contexts. Specifically, moments in which the excavator frequently switched rapidly between multiple movements with varying use of the bucket (e.g., turnover sequence with objects and obstacles around) called for too much codes too frequently. The coding scheme has therefore been simplified,

resulting in capturing less of operational details. This lack of specificity can be partially compensated by context/scene video review, but it increases post-hoc coding effort.

***Figure 1**: Study site 1, where multiple mobile excavators with grapple arms co-worked with pedestrian workers during metal scraping. Right: Study site 2, where mobile excavators operated with co-workers to construct new street facilities.*

4. Discussion

Unlike controlled laboratory studies, site variability was an integral feature of the study, supporting ecological validity while challenging comparability, aligning with prior field insights (Cheng et al., 2022). This variability was observed even within the same day. In addition, we encountered sensor artifacts that are rarely present in laboratory setups. Finally, conducting repeated measurements under an identical setup is constrained by the availability of suitable construction sites and operational schedules. This practical constraint increases sample diversity across sites and tasks but reduces repeatability relative to experiments with standardized stimuli.

Preliminary findings highlight a methodological tradeoff for field studies of visibility aids: measurement intrusiveness vs. label detail. In real work, the most informative moments for workload rating and visual detection demand often coincide with periods when interrupting the operator is not acceptable. This motivates an analysis strategy that does not rely on a single workload label; instead, it integrates (1) task and maneuver context from observational annotations, (2) gaze allocation patterns from eye tracking and scene video, and (3) physiological indicators as complementary evidence.

A second implication is that site-specific operational complexity may be the rule rather than the exception. The observed variability suggests that evaluation protocols based on uniform, scripted conditions alone will miss contextual factors—occlusions, co-worker proximity, and constrained maneuvering spaces—that shape CMS monitoring demands and may contribute to incidents. From a human factors and ergonomics perspective, this points to a need for context-sensitive evaluation (and potentially context-sensitive support), rather than one-size-fits-all assumptions.

This work so far is still limited by the small sample size and the analysis pipeline is being developed. Consequently, the present contribution is best framed as a feasibility-oriented field dataset and a set of design and measurement lessons learned. As the next steps, we will compare visibility-aid usage metrics across maneuver categories and context factors (e.g., obstacle density, proximity of co-workers, degree of occlusion) using primarily eye-tracking measures supported by scene video and event

labels. We will examine associations between visual behavior, ratings, and wearable-derived indicators. In addition, we aim to train supervised models using multimodal features to predict fluctuations in workload ratings and/or visual detection-relevant proxy metrics.

5. References

Brooke J (1995) SUS: a quick and dirty usability scale. In: Jordan PW, Thomas B, Weerdmeester BA, McClelland IL (Eds) Usability evaluation in industry. London: Taylor & Francis, 189-194.

Cheng B, Luo X, Mei X, Chen H, Huang J (2022) A systematic review of eye-tracking studies of construction safety. Frontiers in Neuroscience 16:891725.

DGUV (2024) DGUV statistics 2023: current figures and long-term trends relating to the industrial and the public sector accident insurers. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung.

Hinze JW, Teizer J (2011) Visibility-related fatalities related to construction equipment. Safety Science 49:709-718.

Jegen-Perrin N, Lux A, Wild P, Marsot J (2016) Preventing plant-pedestrian collisions: camera and screen systems and visibility from the driving position. International Journal of Industrial Ergonomics 53:284-290.

Kazan E, Usmen MA (2018) Worker safety and injury severity analysis of earthmoving equipment accidents. Journal of Safety Research 65:73-81.

Koppenborg M, Huelke M, Nickel P, Lungfiel A, Naber B (2016a) Operator information acquisition in excavators - insights from a field study using eye-tracking. In: Nah FF-H, Tan C-H (Eds) HCI in business, government, and organizations: information systems. Cham: Springer International Publishing, 313-324.

Koppenborg M, Huelke M, Nickel P, Lungfiel A, Naber B (2016b) Utilization of viewing aids for safe operations with excavators. In: Arezes P (Ed) Advances in safety management and human factors. Cham: Springer International Publishing, 251-260.

Li J, Li H, Umer W, Wang H, Xing X, Zhao S, Hou J (2020) Identification and classification of construction equipment operators' mental fatigue using wearable eye-tracking technology. Automation in Construction 109:103000.

Mehmood I, Li H, Qarout Y, Umer W, Anwer S, Wu H, Hussain M, Fordjour Antwi-Afari M (2023a) Deep learning-based construction equipment operators' mental fatigue classification using wearable EEG sensor data. Advanced Engineering Informatics 56:101978.

Mehmood I, Li H, Umer W, Arsalan A, Anwer S, Mirza MA, Ma J, Antwi-Afari MF (2023b) Multimodal integration for data-driven classification of mental fatigue during construction equipment operations: incorporating electroencephalography, electrodermal activity, and video signals. Developments in the Built Environment 15:100198.

Shahid A, Wilkinson K, Marcu S, Shapiro CM (2011) Karolinska sleepiness scale (KSS). In: Shahid A, Wilkinson K, Marcu S, Shapiro CM (Eds) STOP, THAT and one hundred other sleep scales. New York: Springer New York, 209-210.

Tattersall AJ, Foord PS (1996) An experimental evaluation of instantaneous self-assessment as a measure of workload. Ergonomics 39:740-748.

Acknowledgements: We thank DGUV for funding the research project (FF-FP 0472) and the accompanying advisory board for supporting site recruitment. We also thank the participating companies and site personnel for their cooperation during the field study.

Understanding 'Jaycustomers': The causes and dynamics of difficult customer behaviour

Jonas WEHRMANN, Nadja DÖRFLINGER, Kai KLASMEIER

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund

Kurzfassung: Aktuelle Forschungsergebnisse legen nahe, dass negatives Kundenverhalten häufig nicht als individuelles Fehlverhalten zu verstehen ist, sondern vielmehr als Folge ungünstiger betrieblicher Rahmenbedingungen entsteht. Der vorliegende Beitrag greift dies auf und analysiert Antezedenzien, Formen sowie Folgen eines negativen Kundenverhaltens. Die Ergebnisse der qualitativen Studie verdeutlichen, dass negatives Kundenverhalten u. a. auf mangelnde Produktqualität, eingeschränkte Warenverfügbarkeit, unrealistische Dienstleistungsversprechen sowie ein schlechtes Serviceverhalten zurückgeführt werden kann. Darüber hinaus zeigt die quantitative Untersuchung, dass negatives Kundenverhalten über die Zeit hinweg emotionale Erschöpfung und Depersonalisierung vorhersagt. Organisationale Antezedenzien hingegen erwiesen sich nicht als prädiktiv für negatives Kundenverhalten.

Schlüsselwörter: Psychische Belastung, Antezedenzien, Schwierige KundInnen, Dienstleistungsarbeit, Interaktionsarbeit, Menschengerechte Arbeitsgestaltung

1. Einleitung

In den vergangenen zwei Jahrzehnten hat eine wachsende Anzahl von Studien Formen von negativem Kundenverhalten untersucht (z. B. Fong et al. 2017). In der Literatur wird dieses Verhalten mit verschiedenen Begrifflichkeiten wie etwa *workplace aggression* (Baron & Neuman 1996), *abusive customer behaviour* (Bamfo et al. 2018), *customer mistreatment* (van Jaarsveld et al. 2015) oder *deviant customer behaviour* (Reynolds & Harris 2006) beschrieben. In verschiedenen Studien konnten dabei Zusammenhänge zwischen einem negativen Kundenverhalten und Auswirkungen auf das Wohlbefinden von Beschäftigten gezeigt werden: *Burnout* (Dormann & Zapf 2004), *psychosomatische Beschwerden* (Dudenhöffer & Dormann 2013) und *detachement* (Yang et al. 2020). Schwierige KundInnen haben jedoch nicht nur einen Einfluss auf das Wohlbefinden von Beschäftigten, sondern können sich ebenfalls auf unternehmensbezogene Zielgrößen auswirken: *Verkaufsleistung* (Sliter et al. 2012), *Arbeitsunfähigkeitstage* (Sliter et al. 2012), *Kündigungsabsicht* (Li und Zhou 2013) sowie *Motivationsverluste* (Yagil 2021).

Wenngleich bereits verschiedene Studien unterschiedliche Facetten eines negativen Kundenverhaltens und deren Wirkung auf die Gesundheit und das Wohlbefinden von Beschäftigten untersucht haben, wurde bislang kaum erforscht, warum KundInnen sich unhöflich, herablassend oder respektlos gegenüber Dienstleistenden verhalten (Sliter & Jones 2016). In der Vergangenheit gingen Forschende vor allem davon aus, dass KundInnen die alleinigen Schuldigen an gescheiterten Interaktionen sind; Dienstleistende und Organisationen wurden

dagegen primär in ihrer Rolle als Opfer betrachtet (Sliter & Jones 2016). Nicht in Betracht gezogen wurde hierbei jedoch, dass negatives Kundenverhalten oftmals erst infolge ungünstiger organisationaler Rahmenbedingungen entsteht. So können etwa lange Wartezeiten oder eine mangelnde Produktqualität dazu führen, dass KundInnen ihren Unmut gegenüber den Beschäftigten zum Ausdruck bringen.

Im folgenden Beitrag werden Entstehungsmechanismen eines negativen Kundenverhaltens sowie deren Auswirkungen auf das Wohlbefinden und die Gesundheit von Beschäftigten systematisch analysiert. Aus dieser Analyse ergibt sich die zentrale Forschungsfrage des Beitrags: „Inwiefern führen organisationale Rahmenbedingungen zu negativem Kundenverhalten und inwieweit lassen sich daraus gesundheitliche Beeinträchtigungen der Beschäftigten vorhersagen?“

2. Forschungsdesign und Methodologie

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde ein sequenzielles exploratives Mixed-Methods-Design gewählt.

In *Studie 1* erfolgte eine qualitative Erschließung des Forschungsfelds mittels halbstandardisierter Interviews mit Dienstleistenden, um auf dieser Basis zentrale Antezedenzien von negativem Kundenverhalten zu identifizieren. Um ein möglichst breites Spektrum an Perspektiven abzubilden, wurden im Rahmen der Interviews nicht nur Beschäftigte, sondern auch VertreterInnen des Managements sowie des Betriebs- und/oder Personalrats einbezogen.

Vor dem Hintergrund, dass Interaktionsarbeit in unterschiedlichen beruflichen Kontexten und Tätigkeitsfeldern geleistet wird, wurde ein vergleichendes Studiendesign gewählt (Böhle & Weihrich 2020). Zur Gewährleistung einer transparenten und theoriegeleiteten Auswahl der Beschäftigtengruppen wurden spezifische Selektionskriterien definiert. Ergänzend zu den Interviews wurden in den beteiligten Organisationen insgesamt neun teilnehmende Beobachtungen durchgeführt. Ziel war es, tiefergehende Einblicke in die arbeitsorganisatorischen Rahmenbedingungen, unter denen Interaktionsarbeit geleistet wird, um gestaltungsrelevante Faktoren zu identifizieren.

Insgesamt nahmen 106 Personen aus sechs Beschäftigtengruppen und 33 Organisationen in Deutschland an der Studie teil. Die Datenerhebung fand zwischen 2020 und 2022 statt. Die Interviews hatten eine durchschnittliche Dauer von etwa 90 Minuten und wurden von verschiedenen Mitgliedern eines interdisziplinär zusammengesetzten Forschungsteams durchgeführt. Anschließend wurden sie durch einen Transkriptionsdienstleister verschriftlicht und durch handschriftliche Protokolle ergänzt.

In Studie 2 wurden die in der qualitativen Studie identifizierten Formen und Antezedenzien eines negativen Kundenverhaltens im Rahmen eines Mixed-Methods-Instrument-Development-Designs in konkrete Items und Skalen überführt und zu einem Belastungsscreening (GBU-IA-Fragebogen) konzeptualisiert (Wehrmann 2025). Aufbauend darauf wurde eine längsschnittliche quantitative Befragung durchgeführt, in der Beschäftigte mithilfe der neu entwickelten Skalen zu Antezedenzien, Ausprägungen und Folgen eines negativen Kundenverhaltens befragt wurden. Die Längsschnittstudie diente zugleich der psychometrischen Validierung des entwickelten Belastungsscreenings (GBU-IA-Fragebogen).

Ziel der Untersuchung war es, mit Hilfe eines Pfadmodells zu prüfen, inwieweit unterschiedliche Antezedenzien verschiedene Subfacetten eines negativen

Kundenverhaltens vorhersagen und ob diese wiederum als Mediatoren mit gesundheits- und befindensbezogenen Outcomes in Zusammenhang stehen. Die Datenerhebung erfolgte in zwei Befragungswellen durch einen Panelanbieter. Die Stichprobenzusammensetzung orientierte sich dabei an den strukturellen Merkmalen des Dienstleistungssektors (z. B. Geschlecht, Alter, Branchenzugehörigkeit). An der ersten Erhebungswelle (T1) nahmen 1.039 Personen teil, während in der zweiten Erhebungswelle (T2) 514 Personen erneut befragt wurden.

Im Rahmen der längsschnittlichen Untersuchung wurden sowohl Antezedenzien verschiedener Formen negativen Kundenverhaltens als auch gesundheitliche Folgen erhoben. Zur Prüfung der Mediationshypothese wurde ein zeitverzögertes Strukturgleichungsmodell mit autoregressiven Effekten berechnet. Antezedenzien eines negativen Kundenverhaltens zu Messzeitpunkt 1 (T1) wurden als Prädiktoren, negatives Kundenverhalten zu Messzeitpunkt 2 (T2) als Mediator und Folgen eines negativen Kundenverhaltens zu T2 als Kriterium modelliert. Zusätzlich wurden die jeweiligen Ausgangswerte der Variablen zu T1 kontrolliert. Abbildung 1 gibt einen Überblick über das Untersuchungsmodell sowie die eingesetzten Erhebungsinstrumente.

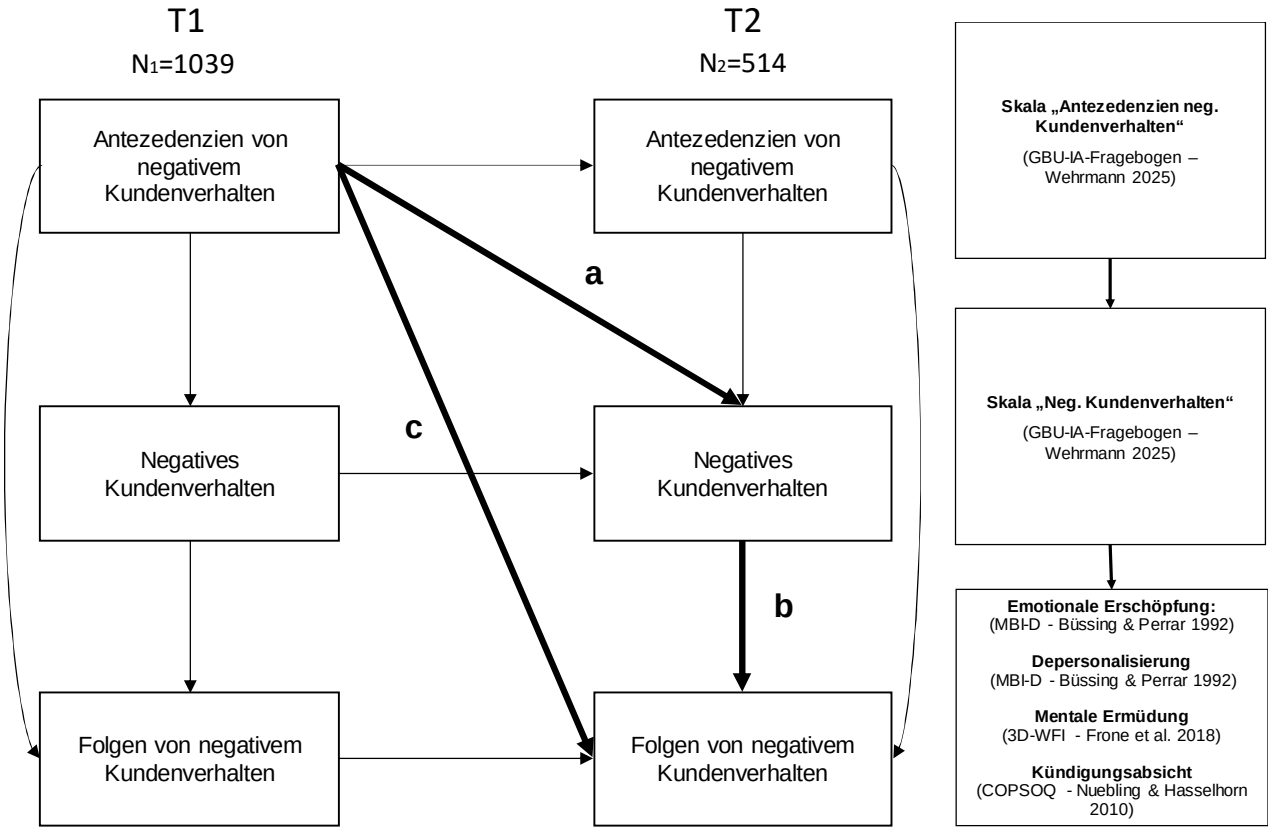


***Abbildung 1**: Untersuchungsmodell und eingesetzte Erhebungsinstrumente.*

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der qualitativen Studie

Die Ergebnisse der qualitativen Untersuchung unterstreichen die Bedeutung arbeitsorganisatorischer Rahmenbedingungen als zentrale Einflussfaktoren für das Auftreten negativen Kundenverhaltens. Die Analyse macht deutlich, dass unzureichend gestaltete organisationale Strukturen und Prozesse häufig den Ausgangspunkt dafür bilden, dass KundInnen Beschäftigten mit Ungeduld, Respektlosigkeit oder aggressivem Verhalten begegnen.

Lange Wartezeiten. Zahlreiche Befragte berichteten, dass KundInnen infolge langer Wartezeiten zunehmend an Geduld verloren und den dadurch entstandenen Frust im direkten Kontakt mit den Beschäftigten zum Ausdruck brachten. Insbesondere in stark frequentierten Dienstleistungskontexten, etwa in Fast-Food-Restaurants, wurde beschrieben, dass sich der Ärger der KundInnen während der Wartezeit aufbaue und sich schließlich in der Interaktion mit den Beschäftigten entladen würde.

Mangelnde Produktqualität. Die Beschäftigten schilderten, dass KundInnen ihren Unmut insbesondere dann gegenüber den Beschäftigten äußerten, wenn Produkte beschädigt geliefert wurden, nicht den erwarteten Qualitätsstandards entsprachen oder bereits nach kurzer Nutzungsdauer Mängel aufwiesen. Vergleichbare Erfahrungen wurden auch im gastronomischen Bereich berichtet, etwa wenn Speisen als ungenießbar wahrgenommen wurden oder den Erwartungen der Gäste nicht entsprachen. Die Befragten betonten, dass derartige Qualitätsdefizite häufig zu Beschwerden und dysfunktionalem Verhalten von Gästen führten.

Eingeschränkte Warenverfügbarkeit. Eine Vielzahl der Interviewten führte negatives Kundenverhalten darauf zurück, dass gewünschte Produkte nicht vorrätig oder lediglich mit erheblichen Lieferverzögerungen verfügbar waren. In solchen Situationen richtete sich der Unmut der KundInnen wiederholt gegen die Beschäftigten, obwohl diese nur begrenzt Einfluss auf die Produktverfügbarkeit ausüben konnten. Die eingeschränkte Warenverfügbarkeit wurde von den Beschäftigten u. a. auf die schwer prognostizierbare Nachfrage nach bestimmten Produkten zurückgeführt.

Hohe Preise. Preisdiskussionen traten insbesondere dann auf, wenn KundInnen den ausgewiesenen Preis als unangemessen empfanden oder von einem niedrigeren Preis ausgegangen waren. In einzelnen Fällen führten fehlerhafte oder missverständliche Preisauszeichnungen dazu, dass KundInnen ihre Verärgerung gegenüber den Beschäftigten zum Ausdruck brachten.

Unverständliche Prozesse. Unverständliche, unklare oder als bürokratisch wahrgenommene Prozesse führten dazu, dass KundInnen wiederholt gleiche Formulare ausfüllten oder redundante Informationen zur Verfügung stellen mussten. Dies wurde von der Kundschaft häufig als unzumutbar empfunden und stieß auf Unverständnis.

Unrealistische Dienstleistungsversprechen. Darüber hinaus zeigte sich, dass unrealistische Dienstleistungsversprechen von der Organisation eine überzogene Erwartungshaltung der KundInnen hervorrufen konnte. Konnte den hervorgerufenen Erwartungen nicht Rechnung getragen werden, äußerten KundInnen ihre Enttäuschung gegenüber den Beschäftigten. Die Diskrepanz zwischen kommunizierten Leistungsversprechen und der tatsächlich erbrachten Dienstleistung stellte somit laut den Einschätzungen der Befragten einen relevanten Einflussfaktor für negatives Kundenverhalten dar.

Schlechtes Serviceverhalten. Zudem wurde auch ein schlechtes Serviceverhalten der Dienstleistenden als bedeutsamer Faktor für ein negatives Kundenverhalten herausgestellt. Die Befragten gaben an, dass ein unfreundliches, gereiztes oder auch distanziertes Verhalten der Dienstleistenden zur Unzufriedenheit der KundInnen beitragen konnte. Damit zeigt sich, dass die Dienstleistenden mit ihrem eigenen Verhalten einen Einfluss auf den Verlauf der Interaktionen hatten und damit (zumindest in Teilen) gewissermaßen selbst für ihre eigene Arbeitszufriedenheit verantwortlich waren (Storck & Bednarek 2014).

3.2 Ergebnisse der quantitativen Studie

Zur Überprüfung der Mediatoreffekte wurden zeitversetzte Strukturgleichungsmodelle unter Berücksichtigung autoregressiver Einflüsse berechnet. Hierbei fungierten die Antezedenzien des negativen Kundenverhaltens (T1) als Prädiktoren und das negative Kundenverhalten (T2) als Mediator. Als abhängige Variablen dienten emotionale sowie mentale Erschöpfung, Depersonalisierung und die Kündigungsabsicht zum Zeitpunkt T2. Um die Kausalitätsannahmen zu stützen, wurden die jeweiligen Baseline-Werte von T1 in allen Modellen kontrolliert.

Autoregressive Effekte. Über alle Modelle hinweg zeigten sich ausgeprägte autoregressive Effekte von T1 auf T2. Negatives Kundenverhalten wies eine hohe zeitliche Stabilität auf ($\beta = .76–.81$, $p < .001$), ebenso die Antezedenzien negativen Kundenverhaltens ($\beta \approx .49$, $p < .001$). Auch die untersuchten Kriterien zeigten substanzielle Stabilitäten (emotionale Erschöpfung: $\beta = .75$; Depersonalisierung: $\beta = .60$; mentale Erschöpfung: $\beta = .71$; Kündigungsabsicht: $\beta = .68$; jeweils $p < .001$). Diese Ergebnisse sprechen für eine hohe zeitliche Konsistenz der untersuchten Konstrukte.

Prüfung der Mediationshypothesen. In keinem der Modelle zeigte sich ein signifikanter Effekt der Antezedenzien negativen Kundenverhaltens zu T1 auf negatives Kundenverhalten zu T2 (a-Pfad: $\beta = -.02$ bis $-.03$, $p > .27$). Damit sagten Antezedenzien – unter Kontrolle der jeweiligen Ausgangswerte – keine Veränderungen im negativen Kundenverhalten über die Zeit vorher.

Negatives Kundenverhalten zu T1 zeigte hingegen konsistente Effekte auf mehrere gesundheitliche Outcomes zu T2. Es sagte emotionale Erschöpfung ($\beta = .07$, $p = .049$), Depersonalisierung ($\beta = .14$, $p = .001$) sowie mentale Erschöpfung ($\beta = .10$, $p = .012$) signifikant vorher. Für Kündigungsabsicht ergab sich hingegen kein signifikanter Effekt. Direkte Effekte der Antezedenzien eines negativen Kundenverhaltens auf die jeweiligen Kriterien waren in keinem Modell signifikant.

Aufgrund der durchgängig nicht signifikanten a-Pfade ergab sich in keinem Modell Evidenz für einen indirekten Effekt der Antezedenzien negativen Kundenverhaltens auf gesundheits- und arbeitsbezogene Outcomes über negatives Kundenverhalten.

Varianzaufklärung. Die Modelle erklärten substanzielle Varianzanteile der Kriterien zu T2 (emotionale Erschöpfung: 58 %, Depersonalisierung: 48 %, mentale Erschöpfung: 52 %, Kündigungsabsicht: 49 %). Die Varianzaufklärung war dabei maßgeblich auf die autoregressiven Effekte zurückzuführen.

4. Fazit

Die vorliegende Untersuchung liefert ein differenziertes Bild zur Entstehung eines negativen Kundenverhaltens. Während die qualitative Studie aufzeigt, dass organisationale Rahmenbedingungen – wie lange Wartezeiten, bürokratische

Prozesse oder mangelnde Produktqualität – zentrale Auslöser für ein negatives Kundenverhalten darstellen, konnte die quantitative Analyse diesen direkten Kausalzusammenhang statistisch nicht bestätigen. Diese Diskrepanz zeigt, dass Beschäftigte organisationale Defizite in den Interviews zwar subjektiv als mögliche Ursache wahrnehmen, die quantitative Studie jedoch darauf hinweist, dass das Phänomen insgesamt komplexeren Wirkmechanismen unterliegt.

Ungeachtet der unterschiedlichen Befunde zur Ursachengenese zeigt die Studie dennoch die Folgen eines negativen Kundenverhaltens für Beschäftigte auf. Negatives Kundenverhalten erweist sich als signifikanter Prädiktor für emotionale Erschöpfung und Depersonalisierung. In der Gesamtschau legen die Ergebnisse nahe, dass Organisationen die Auftretenswahrscheinlichkeit von negativem Kundenverhalten durch gezielte Gestaltung betrieblicher Abläufe verringern können. Für eine menschengerechte Gestaltung von Interaktionsarbeit sollten daher neben verhaltenspräventiven Ansätzen insbesondere verhältnispräventive Maßnahmen ergriffen werden (Wehrmann & Rösler 2025).

5. Literatur

Bamfo BA, Dogbe CS, Mingle H (2018) Abusive customer behaviour and frontline employee turnover intentions in the banking industry: The mediating role of employee satisfaction. Cogent Business & Management 5:1–15. https://doi.org/10.1080/23311975.2018.1522753.

Baron RA, Neuman JH (1996) Workplace violence and workplace aggression: Evidence on their relative frequency and potential causes. Aggressive Behavior 22:161–173. https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2337(1996)22:3<161:AID-AB1>3.0.CO;2-Q

Böhle F, Weihrich M (2020) Das Konzept der Interaktionsarbeit. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 74:9–22. https://doi.org/10.1007/s41449-020-00190-2.

Dormann C, Zapf D (2004) Customer-related social stressors and burnout. Journal of Occupational Health Psychology 9:61–82. https://doi.org/10.1037/1076-8998.9.1.61.

Fong L, Amy S, Law R (2017) Exploring jaycustomer behavior and handling approach in casinos. International Journal of Contemporary Hospitality Management 29:1403–1425.

Li X, Zhou E (2013) Influence of customer verbal aggression on employee turnover intention. Management Decision 51:890–912. https://doi.org/10.1108/00251741311326635.

Reynolds KL, Harris LC (2006) Deviant customer behavior: An exploration of frontline employee tactics. Journal of Marketing Theory and Practice 14:95–111.

Sliter M, Jones M (2016) A qualitative and quantitative examination of the antecedents of customer incivility. Journal of Occupational Health Psychology 21:208–219. https://doi.org/10.1037/a0039897

Sliter M, Sliter K, Jex S (2012) The employee as a punching bag: The effect of multiple sources of incivility on employee withdrawal behavior and sales performance. Journal of Organizational Behavior 33:121–139. https://doi.org/10.1002/job.767.

Stock RM, Bednarek M (2014) As they sow, so shall they reap: Customers' influence on customer satisfaction at the customer interface. Journal of the Academy of Marketing Science 42:400–414.

Wehrmann J (2025) Stressoren und Ressourcen in der Interaktionsarbeit. Berücksichtigung spezifischer Belastungsfaktoren in der Gefährdungsbeurteilung. Wiesbaden: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-49104-8.

Wehrmann J, Rösler U (2025) Interaktionsarbeit – Herausforderungen für eine menschengerechte Gestaltung. In: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg) Gefährdungen durch psychische Belastungen bei der Arbeit vermeiden: Gestaltungsanforderungen und -optionen. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 214–244.

Yagil D (2021) Abuse from organizational outsiders: Customer aggression and incivility. In: D'Cruz P, Noronha E, Keashly L (Eds) Special topics and particular occupations, professions and sectors. Handbooks of Workplace Bullying, Emotional Abuse and Harassment, Springer, 109–134.

Yang F, Lu M, Huang X (2020) Customer mistreatment and employee well-being: A daily diary study of recovery mechanisms for frontline restaurant employees in a hotel. International Journal of Hospitality Management 91:1–9. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2020.102665.

Interkulturelle Kompetenz zur Lösung von Konflikten in der Pflege

Christel KUMBRUCK[1], Annika KOPPE[2]

[1] Hochschule Osnabrück, Caprivistraße 30a, D-49076 Osnabrück
[2] Hochschule Bremerhaven, An der Karlstadt 8, D-27568 Bremerhaven

Kurzfassung: Mittels einer qualitativen Erhebung mit Pflegekräften, Patient/-innen und Pflegeexpert/-innen werden konfliktreiche Situationen in Pflegeeinrichtungen mit Patient/innen aus anderen Kulturen identifiziert und Lösungen generiert. Dabei steht die interkulturelle Kompetenz im Mittelpunkt, sowohl als individuelle Fähigkeit als auch als organisationale Vergegenständlichung in Form von Regeln und Informationen.

Schlüsselwörter: Pflegetätigkeit, Interkulturalität, Interkulturelle Kompetenz

1. Einführung

In der Pflegetätigkeit ist die Verständigung mit den Patient/-innen von zentraler Bedeutung. Die Kommunikation mit Patient/-innen aus fremden Kulturen mit anderen Religionen, Werten und Weltsichten ist erschwert und die resultierenden Verhaltens-weisen führen zu Missverständnissen und ggf. zu Konflikten.

2. Stand der Forschung

Pflegetätigkeit beinhaltet hohe Anteile an verbaler und nonverbaler Kommunikation bzw. Interaktionsarbeit. Diese liefert eigenständige, therapeutisch relevante Beiträge zur Heilung. Sie ist erschwert, wenn Pflegekräfte und Patient/-innen aus unterschiedlichen Kulturen mit verschiedenen Sprachen kommen, wobei die nonverbale Kommunikation, Ausdrücken und Dechiffrieren der Zeichen, noch fehleranfälliger ist als verbale Sprachunterschiede. Missverständnisse, unbekannter Gefühlsausdruck, Unwissen über kulturell andere Krankheitskonzepte, aber auch kulturell unterschiedlichen Umgang mit Sterben und Tod wie auch Berührung durch Pflegekräfte führen vermehrt zu Irritationen und Konflikten in Krankenhäusern und machen im Hinblick auf einen für Patient/-innen und Pflegepersonal störungsfreien Pflegeablauf die Entwicklung von Lösungen notwendig.

2.1 Kultur, Interkulturalität

Im Folgenden wird auf ein semiotisches Verständnis von Kultur zurückgegriffen, demzufolge Menschen in ein „selbstgesponnenes Bedeutungsgewebe verstrickt“ sind; Kultur ist als dieses Gewebe anzusehen. „Ihre Untersuchung ist daher keine experimentelle Wissenschaft, die nach Gesetzen sucht, sondern eine interpretierende, die nach Bedeutung sucht.“ (Geertz 1987, 9)
Kultur entwickelt sich als Ergebnis von Aushandlungsprozessen und als identitätsstiftender Rahmen einer Praxis- und Deutungsgemeinschaft auf der Grundlage eines gemeinsamen semiotischen Bedeutungssystems (Kumbruck & Derboven 2009, 8).

Durch die unterschiedlichen Bedeutungszuweisungen unterscheiden sich Kulturen voneinander und sind auch in der Lage, sich zu verändern. Gegenseitiges Verstehen wird also dadurch möglich, dass die Mitglieder einer Gemeinschaft über ein geteiltes System von Zeichen und Symbolen verfügen, das verbindlich bestimmte Bedeutungen mit diesen Zeichen verbindet.

Die Angehörigen anderer Kulturen haben andere Bedeutungsgewebe entwickelt. Wenn sie sich interkulturell austauschen möchten, müssen sie Verständigungsversuche unternehmen, d. h. jeweils die unbekannten Chiffren dechiffrieren. Hierbei sind neben der Kenntnis der fremden Sprache bzw. die Vermittlung durch einen Übersetzer die Instrumente des Perspektivenwechsels und der Empathie besonders hilfreich. Interkulturalität entsteht durch den Kontakt von Personen in einer kulturellen Überschneidungssituation. Hierbei wird Eigenes und Fremdes als bedeutsam eingestuft und es kommt zu wechselseitigen Beziehungen. Der Raum zwischen dem Eigenen und dem Fremden führt zu interkulturellen Situationen, die als uneindeutig, vage oder auch neuartig und anregend empfunden werden können (Thomas 2003a, 46-47). Es bilden sich situative Verhaltensweisen heraus, die nicht dem Verhalten in einer monokulturellen ähnlichen Situation entsprechen müssen (Kumbruck & Derboven 2016, 31-32). Gelingendes interkulturelles Verhalten wird positiv erlebt; nicht gelingendes führt zu Irritationen und Konflikten. Um diesen vorzubeugen oder sie zu lösen, ist interkulturelle Kompetenz hilfreich. Man sollte diese aber nicht nur als Bündel von Instrumenten sehen, das sich in einem kurzen Training aneignen lässt. Es kommt eher auf die Haltung und Einstellung an, die aus einem speziellen Wertehintergrund entstanden sind. Es handelt sich um eine lebenslange Aufgabe, die „sich immer wieder an den Anforderungen, die aus der gesellschaftlichen Realität und den sich wandelnden Berufssituationen resultieren, zu orientieren haben" (Fischer 2006, 34). Auch häufiger Kontakt mit fremden Kulturen führt nicht zwangsläufig zur interkulturellen Kompetenz (vgl. (Thomas 2003b, 141).

2.2 Interkulturelle Konflikte und Lösungen in Pflegeeinrichtungen

Viele Studien verweisen auf interkulturelle Herausforderungen in der Alten- und Krankenpflege und auch Lösungsansätze (für Deutschland siehe Bundesweiter Arbeitskreis Migration und Öffentliche Gesundheit 2021, Koppe 2021). Im angelsächsischen Raum werden dabei auch interreligiöse Herausforderungen thematisiert und sowohl die Erfüllung von interkulturellen als auch interreligiösen Bedürfnissen (Spiritualität) der Patient/innen als für Heilung unabdingbar angesehen: „Spiritual Care" (Mauk & Schmidt 2004).

In Bezug auf die Alten- und Krankenpflege in Deutschland begründen Kaplan & Schlipf (2014, 92-93) die Relevanz von religiösen Themen für den Berufsalltag folgendermaßen:

„[…] die elementaren Fragen nach dem Woher und Wohin des Lebens stellen sich im Umfeld von Klinik und Pflegeheim deutlicher und dringlicher als an anderen Orten des Lebens. Auch im säkularen Kontext sind diese Fragen für manche Menschen mit spirituellen Sinnfragen und religiösen Themen verbunden."

Daraus leitet sich für diesen Text die folgende Forschungsfrage respektive Fragestellung ab:

- Welche interkulturellen und interreligiösen Probleme gibt es in der interkulturellen Pflege im Krankenhaus und welche Lösungen gibt es?

3. Empirische Erhebung

Die empirischen Erkenntnisse basieren auf der Dissertation von Koppe (2021).[16] Das in diesem Beitrag verfolgte Untersuchungsdesign ist qualitativ.

Für die Erhebung kommen als Methoden Fokusgruppen, Qualitative Einzelinterviews, für die Framework Approach und Kernsatzmethode zum Einsatz.

Die qualitativen Gütekriterien im Interpretativen Paradigma, die auch in dieser Untersuchung umgesetzt wurden, sind: Verfahrensdokumentation, Gegenstand-angemessenheit, Nachvollziehbarkeit und Kontextrepräsentanz der Interpretationsergebnisse. Einen Überblick über Methodeneinsatz und Anzahl Proband/-innen im qualitativen Teil liefert die folgende Tabelle 1.

.

Tabelle 1: *Forschungsdesign qualitativer Teil (Koppe 2021, S. 204).*

	Erhebung	Zielgruppe	Anzahl	Zielsetzung
Vorstudie	Fokusgruppen	Pflegekräfte	3 Gruppen à 4-8 Personen	Grundlage für Leitfadeninterview, Situationen
Hauptstudie	Leitfadeninterview	Pflegekräfte	10	Sicht der Pflegekräfte
	Leitfadeninterview	Patient/-innen mit Migrationshintergrund	11	Sicht der Patient/-innen
	Leitfadeninterview	Experten für interkulturelle Pflege	3	Hintergründe verstehen und Situationen analysieren
Vertiefung	Expertenfokusgruppe	Experten für interkulturelle Pflege	1 Gruppe mit 3 Personen	Wichtige Aspekte vertiefen und diskutieren

4. Ergebnisse

Interkulturelle Probleme zeigen sich insbesondere im Hinblick auf zentrale Kulturdimensionen (Hofstede 2017; House et al. 2014). In diesem Beitrag wird der Schwerpunkt auf Kommunikation gelegt: Unterschiedliche Sprachen, wer übersetzt? Welche Missverständnisse entstehen? Welche Konzepte für Krankheit und Heilung sind relevant? Wie werden Emotionen, z. B. Schmerz, gezeigt? Typische Problemfälle werden im Folgenden dargestellt und mögliche Lösungsansätze vorgeschlagen.

Fall 1: Unzureichende Deutschkenntnisse (Koppe 2021, 224)
Pflegekraft P 3.8 beschreibt die problematische Kommunikation mit einer Frau, die aus einem anderen Land kommend während ihres 30-jährigen Aufenthalts kein Deutsch gelernt hat: *“Aber dass sie zum Beispiel im Bett bleiben musste und angekabelt worden ist, das hat sie nicht verstanden, die stand dann immer auf und dann gab‘s Alarm, dann hat man das Gefühl gehabt, es geht ihr so schlecht, dass sie reanimiert werden muss, aber sie verstand nicht, dass sie im Bett bleiben muss. Und dann musste ich natürlich pantomimisch ihr zeigen: hier liegen. Das ist wie im Theater."*

Die Anweisung an die Patientin, angekabelt im Bett zu bleiben, konnte ihr von den Pflegekräften nicht über die Sprache begreiflich gemacht werden.

[16]Die Dissertation hat sowohl einen qualitativen als auch quantitativen Teil. Für die Fragestellung dieses Aufsatzes wird nur der qualitative Teil für die empirische Auswertung weiter benutzt.

Lösung: Manchmal müssen Pflegekräfte zu nonverbalen Mitteln greifen, um sich verständlich zu machen.

Fall 2: Angehörige als Sprachvermittler (Koppe 2021, 225f.)

Wenn sich die Pflegekraft nicht direkt mit dem Patient/-innen verständigen kann, übernehmen oft die Angehörigen die Rolle des Übersetzers, was nicht immer zum gewünschten Ergebnis führt, weil sie beispielsweise dem Patient/-innen die Diagnose vorenthalten, um ihn zu schonen. Für Pflegekraft P 2.2 hat sich eine sehr unangenehme Situation ergeben, weil sie angenommen hatte, der Patient wäre von seinen Angehörigen über seine Lungenkrebsdiagnose aufgeklärt worden und somit bereit für die Chemotherapie. Der Patient wurde von ihr dadurch völlig unvorbereitet mit einer lebensbedrohlichen Diagnose konfrontiert.

Lösung: für Diagnosen und Behandlung sowie Nebenwirkungen etc. sollten immer professionelle Übersetzter genutzt werden.

Fall 3: Sprachlosigkeit führt zu Verhaltensirritationen (Koppe, 2021, 226)

Von einem anderen Missverständnis berichtet P 2.3 aus der Fokusgruppe 2. Ein algerischer Patient, redete nicht mit den Pflegekräften, „*weil er die Sprache nicht gut verstanden hat*“. Er aß und trank plötzlich nichts mehr. Sein Zustand verschlechterte sich, was sich auch in den Laborwerten widerspiegelte. Die Pflegekräfte machten sich Sorgen, bis jemandem einfiel, dass Ramadan war und der Patient fastete.

Lösung: Gerade im Islam bestehen viele Verhaltensvorschriften, die für Krankheit und Sterben relevant sind. Für die Behandlung in Pflegeheimen und Krankenhäusern sollten die wichtigen Informationen schriftlich zusammengefasst den Pflegekräften zur Verfügung stehen, damit nur selten problematische Situationen entstehen.

Fall 4: Körperliche Symptomatik, starker Emotionsausdruck (Koppe, 2021, S. 261)

Pflegekraft J., Psychiatrie, hat beobachtet: *„ [...] Ganz typisch ist es zum Beispiel bei den Russland-Deutschen, dass die extrem viel ‚jammern'. Ganz viel. […] Also die haben dann Kopfschmerzen, die haben dann Bauchschmerzen, und je mehr die jammern, je mehr wollen die dann auch Ausdruck damit verleihen, wie schlecht es ihnen geht."*

Hierzu korrespondierend gibt Patientin 3, die auf einer psychiatrischen Station befragt wurde, einen Einblick in die Patient/-innenseite in Bezug auf den kulturell unterschiedlichen Emotionsausdruck: "*Dass Verhaltensweisen, also wenn sie in Bezug auf Emotionen sind, dass man anders reagiert als die Norm es hier hergibt, und so spielt der Emotionsausdruck in meiner Kultur eine große Rolle. Also dass man auch mal emotionaler reagiert, und dass das nicht gleich bedeutet, dass die Welt untergeht. Und hier ist immer gleich ‚Oh, was hat die denn jetzt schon wieder' oder ‚Oh mein Gott, was für eine Überreaktion' und ich einfach sehe, wie wichtig ein emotionaler Ausdruck ist für die Seele und da fühlt man sich oft schon manchmal zeitweise unterdrückt."*

Lösung: Hier geht es um Verstehen, dass die Skala des Emotionsausdrucks, z.B. für das Maß des Schmerzes, für russische und auch türkische Patient/-innen anders geeicht ist als für deutsche Patient/-innen.

Die Fallbeispiele, die sich im weiteren Sinne auf den Bereich Interkulturelle Kommunikation beziehen, machen deutlich, dass verbale und nonverbale Kommunikation gerade im Pflegebereich zu unterschiedlichen Missverständnissen führen können und es sowohl für das Pflegepersonal als auch die Patient/-innen nicht leicht ist, zu verstehen, um was es geht. Insbesondere eigene Werte bzw. Maßstäbe und Normen führen häufiger zu dem Eindruck, dass sich die fremden Patienten nicht der deutschen Norm entsprechend verhalten.

5. Diskussion

Für besseres Verstehen sehr hilfreich ist die interkulturelle Empathie als Herzstück der interkulturellen Kompetenz, wie sie von Koppe (2021, 272) beschrieben wurde: Interkulturelle Empathie: “Mit viel Erfahrung erspüren, was das Gegenüber braucht."

Unter interkultureller Empathie wird ein kognitiver Vorgang verstanden, der einen spontanen Perspektivenwechsel, aber auch die Nutzung von Hintergrundwissen bzw. Erfahrung und Reflexion zum Verstehen der Lage des Patient/-innen beinhalten kann. Er erfolgt mittels

- Sich einfühlen und andere Werte zulassen (affektive interkulturelle Empathie)
- Verstehen und Verständnis für kulturelle Unterschiede (kognitive interkulturelle Empathie)
- Verstehen und Verständnis
- Interesse und sich einlassen
- Akzeptanz des Sprachproblems

Beim Einfühlen bzw. Zulassen anderer Werte brauchen diese anderen Werte keine rationale Begründung. Sofern die Pflegekraft sie als wichtig für den Patient/-innen erkennt, kann sie auf diesem Wege empathisch sein. Beim Verstehen und Verständnis für kulturelle Unterschiede geht es im Kern darum die Hintergründe zu erfahren, die ein mehr oder weniger rationales Nachvollziehen der Situation des Patient/-innen ermöglichen.

Einen Teil der interkulturellen Verstehensprobleme kann in Pflegeeinrichtungen aufgefangen werden, indem sich die Organisation präventiv um wiederkehrende Situationen kümmert und dafür Regelungen und Prozeduren festlegt. Dies bezieht sich beispielsweise auf die übliche große Anzahl von besuchenden muslimischen Angehörigen, die mit verbindlichen Besucherregelungen gelöst werden müssen.

Ganz generell sollten einige professionelle Dolmetscher-/innen verfügbar sein für Diagnosen und Behandlung sowie Nebenwirkungen etc.

Es ist hilfreich, wenn Material zur Information für Pflegekräfte vorhanden ist, das über die Gewohnheiten von Menschen aus anderen Kulturen und Religionen aufklärt. Diese sog. Interkulturelle „Kompetenz“ der Organisation vergegenständlicht die interkulturelle Kompetenz, die auf bisherigen Erfahrungen beruht.

Zudem wird für den alltäglichen Umgang mit Patient/-innen fremder Kulturen personengebundene interkulturelle Kompetenz benötigt, die einen Schwerpunkt auf das Erlernen von affektiver Empathie legt. Mit ihrer Hilfe kann dann die Bedeutung des „Jammerns“ für das Ertragen des seelischen oder körperlichen Schmerzes durch die Patientin, ohne sie abzuwerten (Beispiel 4), gehören, wie auch das „Theaterspielen“ zur Verdeutlichung, dass die Patientin im Bett liegen bleiben muss, damit sie nicht die Kabel zum Messen ihrer Vitalwerte rausreisst (Beispiel 1). Die Einrichtung sollte Fortbildungen für interkulturelle Kompetenz anbieten, aber auch spezielle Supervisionen zur Aufarbeitung kritischer Situationen.

6. Fazit

Unter interkultureller Kompetenz in der professionellen Pflege im Krankenhaus wird ein personengebundenes Set von Fähigkeiten und Fertigkeiten verstanden, das sowohl Fach- und Methodenkompetenz als auch Soziale und Personal- bzw. Selbstkompetenz beinhaltet, hierunter insbesondere die Fähigkeit zu interkultureller Empathie.

Kultur und Religion werden als Orientierungsrahmen verstanden, die Person als Individuum zwar nicht festschreiben, jedoch als Prägung im Pflegeprozess zumindest in Betracht gezogen werden sollten. Die interkulturelle Kompetenz ist dabei, bezogen auf die kulturellen Hintergrunde, kulturunspezifisch, dafür jedoch in Bezug auf den Pflegeberuf bereichsspezifisch. Als Ziel von interkultureller Kompetenz wird die Erbringung einer qualitativ guten Pflege fur Patienten mit Migrationshintergrund angenommen, wobei effizienzorientierte und ethische Aspekte zum Tragen kommen. Diese qualitativ gute Dienstleistung kann kultur- und religionsspezifische Ausprägungen haben. Interkulturelle Kompetenz kann aus dem Handlungserfolg abgeleitet werden, wenn dieser eindeutig belegbar ist“ (Koppe 2021, 428).

7. Literatur

Bundesweiter Arbeitskreis Migration und Offentliche Gesundheit 2021: Das kultursensible Krankenhaus. Ansatze zur interkulturellen Offnung. https://www.publikationen-bundesregierung.de/resource/blob/2277952/1950206/93ccf0b8e79e9ec12c420e255e122096/das-kultursensible-krankenhaus-neuauflage-30-06-2021-bf-download-ba-ib-data.pdf?download=1 (Zugriff 6. Januar 2026).

Fischer V (2006) Interkulturelle Kompetenz - ein neues Anforderungsprofil für die pädagogische Profession. In V Fischer (Hrsg.), Interkulturelle Kompetenz: Fortbildung - Transfer - Organisationsentwicklung (2. Aufl., 33–47). Schwalbach/Ts.:Wochenschau-Verl.

Geertz C (1994) Dichte Beschreibung. Beiträge zum Verstehen kultureller Systeme. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.

Hofstede G (2017) Lokales Denken, globales Handeln. Interkulturelle Zusammenarbeit und globales Management, 6. Aufl. München: Beck-Verlag.

House R J, Hanges P J, Javidan M, Dorfman P W, Gupta V (2004) Culture, leadership, and organizations. The GLOBE study of 62 societies. Thousand Oaks: Sage.

Kaplan M, Schlipf M (2014) Interreligiöse Pflegekompetenz im säkularen Kontext. In H Merkt, A Biesinger (Hrsg.). Interreligiöse Kompetenz in der Pflege: pädagogische Ansätze, theoretische Perspektiven und empirische Befunde (S. 89–98). Münster: Waxmann.

Koppe A (2021) Interkulturelle Kompetenz in der Pflege von Patienten mit Migrationshintergrund – Analyse und Erfassung pflegespezifischer Dimensionen von Interkultureller Kompetenz im Krankenhaus. Osnabruck: Dissertation an der Universität Osnabrück.

Kumbruck C, Derboven W (2016) Interkulturelles Training. Trainingsmanual zur Förderung interkultureller Kompetenzen in der Arbeit, 3. vollst. Überarb. Aufl. Berlin: Springer.

Mauk K L, Schmidt N K (2004). Spiritual care in nursing practice. Philadelphia, Pa.;
London: Lippincott Williams & Wilkins.

Thomas A (2003a) Das Eigene, das Fremde, das Interkulturelle. In A Thomas, E-U Kinast, S Schroll-Machl (Hrsg), Handbuch Interkulturelle Kommunikation und Kooperation: Band 1: Grundlagen und Praxisfelder. (2., überarb. Aufl., S. 44–59). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

Thomas A (2003b) Interkulturelle Kompetenz: Grundlagen, Probleme und Konzepte. Erwägen, Wissen, Ethik, 14(1), 137-150.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Gestaltung trotz Kontrolle? – Handeln von DB-Servicekräften an Bahnhöfen in Relation zu digitalen Tools

Samira TERPOORTEN, Michael DICK

Lehrstuhl für Betriebspädagogik, Institut I: Bildung, Beruf und Medien
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Universitätsgebäude 40, Zschokkestr. 32, D-39104 Magdeburg

Kurzfassung: In diesem Beitrag wird das Handeln von Servicekräften der Deutschen Bahn an Bahnhöfen im Zusammenhang mit digitalen Tools thematisiert. Dies erfolgt mithilfe einer qualitativ-ethnografischen Studie. Es zeigt sich, dass die digitalen Tools auf subtile Weise umfangreiche Kontrolle ausüben. Zwischen Fremd- und Selbstbestimmung wurden jedoch auch vielfältige Handlungsmuster der Servicekräfte identifiziert. Gerade hinsichtlich der praktischen Ausgestaltung postmoderner Transformation plädiert der Beitrag für eine kritische Reflexion der gestalterischen Rolle der Beschäftigten.

Schlüsselwörter: Arbeitsalltag, Ethnografie, digitale Tools, Gestaltung

1. Rahmung Vorhaben

In Praxis und Wissenschaft wird häufig angenommen, dass Beschäftigte in Großunternehmen kaum Gestaltungsspielräume haben und lediglich Managementvorgaben umsetzen. In Zeiten postmoderner Transformation wird das Verhältnis zwischen Management und Beschäftigten jedoch zunehmend hinterfragt. Daher untersuche ich in meiner Dissertation das Spannungsfeld zwischen Fremd- und Selbstbestimmung, indem ich erforsche, wie operative Beschäftigte in Großunternehmen im Zuge postmoderner Transformation handeln. Mein Fokus liegt dabei auf alltäglichen Handlungsmustern von Resignation und Widerstand über Anpassung bis hin zur proaktiven Gestaltung sowie auf subtilem Handeln in Machtstrukturen. Dies untersuche ich anhand von Servicekräften der Deutschen Bahn an Bahnhöfen.

Zur Erforschung nutze ich die ethnografische Methode (Breidenstein et al. 2020), ergänzt durch Mapping-Verfahren (Baxter et al. 2025) zur Analyse von Interviews, Beobachtungsprotokollen und Unternehmensdokumenten. Diese habe ich zwischen 2024 und 2025 an 4 Bahnhöfen erhoben. Die Reflexion der eigenen Forscherinnenrolle ist wesentlich, um eine intersubjektiv nachvollziehbare Rekonstruktion von Wissen zu gewährleisten (Berger & Luckmann 1987). Ich verwende eine raumsoziologische Heuristik, die Raum als „[…] relationale (An)Ordnung sozialer Güter und Menschen (Lebewesen) an Orten“ versteht (Löw 2001, S. 224). Dies ermöglicht vertiefte Einblicke in die alltäglichen Handlungsmuster der Servicekräfte. Gleichzeitig bietet sie eine holistische Perspektive mit der Betrachtung der „Re-Figuration von Räumen“ als Teilaspekt postmoderner Transformation (Knoblauch und Löw 2025). Dies impliziert, dass sich Handlungsmuster und -strukturen wechselseitig beeinflussen, vorangetrieben von Dynamiken wie der Mediatisierung (ebd.). Die postmoderne Transformation umfasst mehr als nur einzelne gesellschaftliche Veränderungen oder das Zusammenspiel verschiedener Wandlungserscheinungen wie der Digitalisierung. Sie wird viel-

mehr als ein komplexes, fluides und zirkuläres Phänomen verstanden, das unterschiedlich wahrgenommen und beeinflusst wird (vgl. Bernroider et al., 2021, S. 5–6). Großunternehmen bieten einen relevanten Ausschnitt der Arbeitswelt, in dem analog zu vielfältigen Handlungsstrukturen ein breites Spektrum an Handlungsmustern vermutet wird. Die Raumsoziologie bietet damit eine holistische und zugleich vertiefte Perspektive.

Ein Zwischenergebnis zeigt, dass digitale Tools den Arbeitsalltag der Servicekräfte zunehmend durchdringen. Daher beleuchtet dieser Beitrag das Handeln der Beschäftigten in Bezug auf die digitalen Tools und argumentiert, inwiefern die gestalterische Funktion der Beschäftigten trotz umfassender Kontrolle durch die digitalen Tools bedeutend ist. Die bisherigen Erkenntnisse tragen nicht nur zum wissenschaftlichen Diskurs über digitale Transformationsprozesse bei. Sie bieten auch praktische Ansätze zur Gestaltung menschenzentrierter Arbeitsprozesse. Das Beispiel digitaler Tools zeigt, dass nicht nur das Management, sondern auch die Beschäftigten als Kollektiv zur proaktiven Mitgestaltung postmoderner Transformation beitragen können.

2. Handeln der Servicekräfte in Relation zu digitalen Tools

2.1 Überblick Arbeitsalltag Servicekräfte

An größeren Bahnhöfen arbeiten Servicekräfte, die in verschiedenen Bereichen unterschiedliche Aufgaben übernehmen. Im mobilen Bahnsteigservice helfen sie mobilitätseingeschränkten Personen, den Bahnhof zu passieren. Sie sind insbesondere bei Fahrplanabweichungen wie Verspätungen oder Gleiswechseln aktiv und unterstützen die Reisenden. Auf den Bahnsteigen befinden sich zudem kleine „Buden“, die früher von Bahnansager*innen genutzt wurden. Diese wurden teilweise als Büros für Servicekoordinator*innen umfunktioniert. In der Fundstelle, die sich meistens am Gleis 1 befindet, werden Fundsachen aus Zügen, vom Bahnhof oder aus Schließfächern verwaltet. Eines der Häuschen verfügt in der Regel auch über eine Küche für die Servicekräfte. Sie wird teilweise in den Pausen bzw. für informellen Kontakt genutzt. Zusätzlich gibt es verschiedene, weniger genutzte Bestrebungen von Vorgesetzten, Pausenräume in den Büros der Bahnhöfe zu etablieren.

Die DB Information ist ein zentraler Ort der Servicekräfte. Er befindet sich meist in der Eingangshalle der Bahnhöfe. Oftmals ist sie leicht erhöht, sodass die Servicekräfte einen Überblick über die Gleise sowie die Ein- und Ausgänge haben und sie für Reisende gut sichtbar und erreichbar sind. An kleineren Bahnhöfen ist die DB Information mit der Fundstelle kombiniert oder aufgrund von Umbauten woanders zu finden. Das Prinzip der Zentralität bleibt jedoch stets gewahrt. Hier werden primär Fragen von Reisenden an die Servicekräfte gestellt. Außerdem treffen sich die Servicekräfte dort mit mobilitätseingeschränkten Personen vor deren Fahrtantritt und Reisende können Fundsachen abgeben. Dieser Ort dient zudem als informeller Treffpunkt für Servicekräfte aus verschiedenen Bereichen. Dazu stellen sie sich gelegentlich hinter die Mitarbeiter*innen, um kurze Gespräche zu führen. Typischerweise ist die DB Information mit zwei Arbeitsplätzen ausgestattet, die jeweils mit Monitoren und Computern versehen sind. Ergänzt wird dies durch einen mittig platzierten Drucker.

2.2 Darstellung Digitale Tools

An meinem ersten Tag in einer DB Information fiel mir neben dem Logo der Deutschen Bahn der Name „Pia“ auf dem Bildschirm einer Servicekraft auf. Da sie gerade

hereingekommen war, fragte ich sie unbeholfen zur Kontaktaufnahme, ob sie Pia heißt. Sie verneinte und erklärte, dass „Pia“ der Name des Programms sei. Dieser Schlüsselmoment ist für mich ein symbolisches Beispiel für ein digitales Tool, das subtil und gleichzeitig wirkmächtig in den Arbeitsalltag der Servicekräfte eingebettet ist. Auf der Website ihrer Entwickler wird betont:

> „Über allem steht das Ziel, den Arbeitsalltag des Servicepersonals und die Erfahrungen der Reisenden zu verbessern“ (Scholz & Volkmer GmbH 2026).

Zukünftig soll Pia bezüglich der Reisepräferenzen noch KI-basierter werden. Das Programm ähnelt dem „DB Navigator“, insofern dort ebenfalls Verbindungen inklusive Updates gesucht werden können. Es erlaubt jedoch zusätzlich die Eingabe von Reiseinformationen wie Abfahrts- oder Ankunftsort mit weiteren Optionen wie Uhrzeit oder Zugtyp. Zusätzlich sind interne Informationen wie genauere Hintergründe zu Verspätungen bei Reisen für eventuelle Rückfragen angegeben. Neben Pia gibt es noch andere digitale Tools.

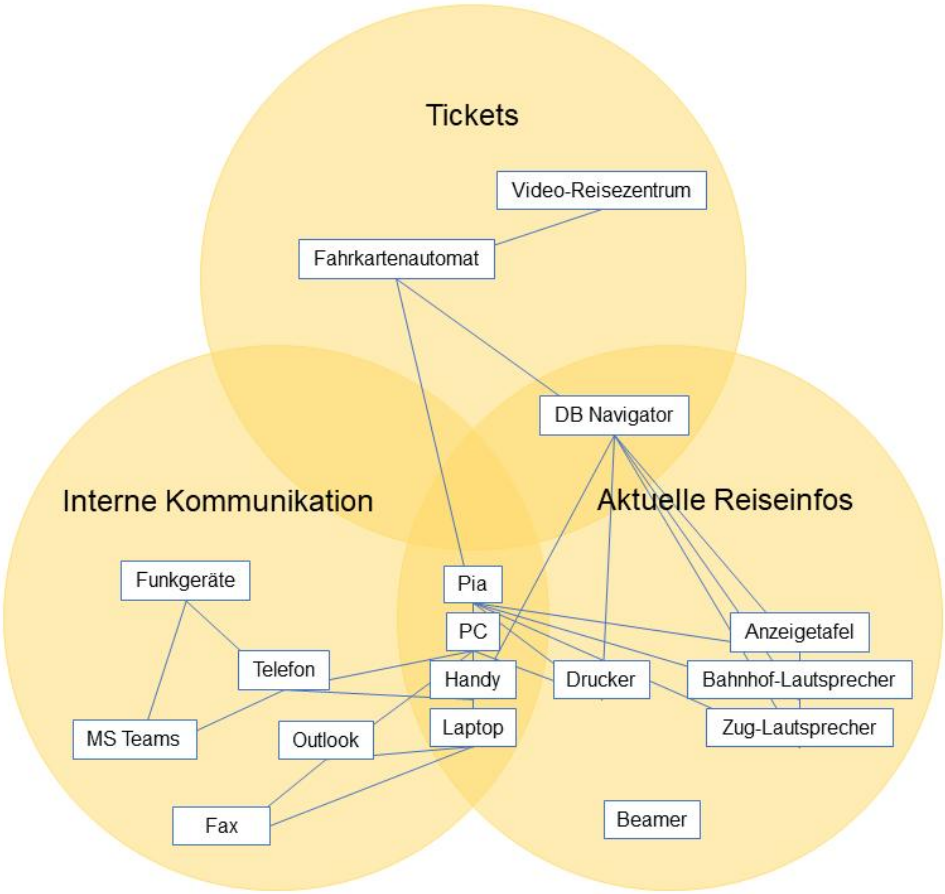


Abbildung 1: *Digitale Tools im Arbeitsalltag der Servicekräfte.*

In Abbildung 1 sind die digitalen Tools dargestellt, die für die Servicekräfte als besonders wichtig rekonstruiert wurden. Neben Software zählen hierzu eine Reihe tragbarer und fest installierter Geräte wie PCs, Laptops, Telefone und Faxgeräte. Diese digitalen Tools unterstützen die interne Kommunikation, die Ticketausstellung und die Bereitstellung aktueller Reiseinformationen. Letztere überschneiden sich insbesondere in der App „DB Navigator“, die beide Funktionen kombiniert. Zusätzlich informieren verschiedene Tools die Reisenden über ihre Fahrten. Beispielsweise erhalten sie

bei Umstiegen aktuelle Informationen über die Zug-Lautsprecher. Darüber hinaus gibt es Anzeigetafeln in den Gleis- und Eingangsbereichen der Bahnhöfe. Diese sind allerdings besonders bei kurzfristigen Zugausfällen nicht immer aktuell. Der Grund dafür ist, dass verschiedene Unternehmen ihre Informationen unterschiedlich schnell übertragen. Die einst vom Synchronsprecher Heiko Grauel für alle Eventualitäten eingesprochenen Bahnhofsdurchsagen werden zentral von den Ansagezentren der Bahnhöfe gesteuert. Aufgrund des hohen Geräuschpegels sind sie jedoch oft schwer verständlich.

2.3 Handeln der Beschäftigten

In der Analyse des Handelns der Beschäftigten in Relation zu digitalen Tools lässt sich ein Muster erkennen, das zwischen Selbst- und Fremdbestimmung verläuft. Diese beiden Pole koexistieren, sind weder kausal positiv noch negativ und zeigen vielschichtige Bedeutungen. Nachfolgend werden diese Aspekte näher beschrieben:

- Die *Funktionalität* der digitalen Tools, wie beispielsweise der Anzeigetafel oder des Druckers, zu prüfen, ist vorgeschrieben. Andererseits wird hier auch eine Angewiesenheit der digitalen Tools von den Servicekräften deutlich.
- Es geht auch um *Kompetenz*, wenn langjährige Mitarbeiter*innen ihren Wissensstand immer wieder an technologische Entwicklungen anpassen und Neues erlernen müssen, um die Nutzung zu beherrschen. Dies kann wiederum Arbeit abnehmen und erleichtern. Es bedeutet auch, Fehler zu machen. Kompetenzen können sich jedoch auch in ihrer Relevanz verschieben. Ältere Servicekräfte mussten beispielsweise in ihrer Ausbildung noch alle Streckennummern auswendig kennen, um sie in einem Nachschlagwerk zu finden. Heutzutage können Verbindungen im Programm „Pia“ einfach eingegeben werden. Das erleichtert Quereinsteiger*innen wiederum den Start.
- Die Tools dienen im Servicealltag als Instrument zur *Dokumentation*. So stellt einerseits die genaue Erfassung von Wertgegenständen in der Fundstelle oder die Weiterleitung wertvoller Fracht wie Organe in der DB Information eine Kontrolle der Mitarbeiter*innen dar, andererseits bietet sie den Beschäftigten eine rechtliche Absicherung. Dies kann sich allerdings auch nachteilig auswirken. Beispielsweise fällt es Servicekräften bei einer genau dokumentierten Beschwerde von Reisenden, die erst Wochen später mit den Vorgesetzten besprochen wird, oft schwer, sich zu verteidigen, weil sie sich teilweise nicht mehr daran erinnern.
- Die Servicekräfte variieren ihre *Nutzungsintensität* bewusst. Sie entscheiden situativ, wie häufig und in welchem Maße die Apps für ihre Praxiszwecke relevant sind. In der DB Information geben erfahrene Servicekräfte angefragte Routen nur dann in das Programm ein, wenn es sich nicht um eine einfache Fahrt handelt oder ein Ausdruck gewünscht wird. Ansonsten verweisen sie auf die Anzeigetafel, um ihre Aussagen zu verdeutlichen und Verspätungen mit einzubeziehen. Besonders im mobilen Service führen überlastete WLANs oder technische Login-Hürden zu einer geringeren Nutzungsintensität.
- Digitale Tools sind *Informationsquellen*. Sie sind für Servicekräfte nicht nur hilfreich, sondern auch notwendig, um den Kund*innen Orientierung und Updates zu ihrer Reise zu bieten. Dennoch müssen die umfangreichen Informationen von den Servicekräften hinsichtlich ihrer Praxisrelevanz gefiltert werden. Insbesondere wird bei Großstörungen mit Menschenmassen die Abhängigkeit von einem kleinteiligen Informationsfluss deutlich. Dadurch kann die Informationskette des Unternehmens, in

der die Servicekräfte oftmals am Ende stehen, aber dennoch am direktesten betroffen sind, schnell zum Symbol für Unzufriedenheit über bestehende Hierarchien werden. Dies ist besonders der Fall bei nicht nachvollziehbaren Entscheidungen oder falschen Aussagen darüber, wann weitere Updates folgen.

- Zudem kann die *Kommunikation* ebenfalls selbst- oder fremdbestimmt sein. Die Servicekräfte können nicht entscheiden, ob sie kontaktiert werden. Beim Programm „Pia“ verläuft die Kommunikation beispielsweise einseitig. Sie haben jedoch zumindest ein wenig Einfluss darauf, in welchem Ausmaß und mit welchem Tool sie interagieren.
- Das *Analoge* steht dem Digitalen gegenüber und bleibt wirkmächtig. Besonders wichtige Informationen, beispielsweise für die nachfolgende Schicht oder Spezialwissen im Serviceteam werden noch immer manuell notiert. Die Zusammenarbeit vor Ort hat oberste Priorität. Die eigene Meinung wird meist face-to-face geäußert. Auch wichtige Informationen von Vorgesetzten werden persönlich über die Servicekoordinator*innen gestreut. Bei meinem Feldaufenthalt zeigte sich außerdem, dass die Bereitschaft zu Interviews in Begleitung eines persönlichen Aufenthalts vor Ort wesentlich größer war als durch Online-Aufrufe. Außerdem fungieren die Servicekräfte als Übersetzer*innen, wenn sie digitale Fahrpläne von „Pia“ insbesondere für Reisende ohne Handy ausdrucken. In der Fundstelle drucken die Mitarbeiter*innen außerdem eingegebene Daten auf Kärtchen aus, um sie vorschriftsmäßig an den Fundsachen oder Münzbehältern zu befestigen.
- Die *Affordanzen* digitaler Tools ziehen bestimmte Nutzungsarten automatisch nach sich, auch wenn die Selbstbestimmung bezüglich der Nutzung variiert. So wird beispielsweise ein Knopf sinnvollerweise gedrückt oder ein Bildschirm angesehen. Dies betrifft in erweitertem Sinne auch die Einrichtung der DB Information. Denn die Platzierung von Telefon, PC und Drucker führt zu eingeschränkten Bewegungsabläufen.
- Der Aspekt der *Körperlichkeit* im Zusammenhang mit digitalen Tools zeigt, dass insbesondere die Zwangshaltung an der DB Information körperliche Leiden begünstigen kann. Während des Feldaufenthalts klagten mehrere Beschäftigte über Rückenschmerzen, die bereits ärztliche oder physiotherapeutische Behandlungen erforderten. Einige Servicekräfte bemühten sich aber auch um körperlichen Ausgleich, indem sie regelmäßig im Stehen arbeiteten oder in ihrer Freizeit Sport trieben.
- Die *Vermittlung* der Servicekräfte in Bezug auf digitale Tools zeigt sich insbesondere bei Fahrplanabweichungen. Sie fungieren als Multiplikator*innen für kurzfristige Informationen zu Fahrplanänderungen. Im Gegensatz zum Management oder digitalen Tools sind sie direkt vor Ort, um Einzellösungen zu finden. In Kund*innengesprächen werden kleine Verspätungen explizit nicht erwähnt. Die Servicekräfte äußerten gegenüber mir als Feldforscherin sowohl Verteidigung als auch Traurigkeit und Distanzierung bis hin zu Zustimmung bezüglich der negativen Berichterstattung der Medien über die Deutsche Bahn.

Zusammenfassend bewegen sich Servicekräfte bezüglich digitaler Tools in einem Spannungsfeld zwischen Selbst- und Fremdbestimmung. Einerseits erleichtern sie den Arbeitsalltag an vielen Stellen zweifellos, andererseits üben sie umfassende Kontrolle aus. Dabei wird die Bedeutung der Servicekräfte im Unternehmen besonders deutlich. Sie sind ebenso machtlos wie die digitalen Tools, wenn der Reisefluss unterbrochen ist. Obwohl sie als Repräsentant*innen des Unternehmens sich selbst eher als „Prellbock der Nation“ charakterisieren und betonen, dass sie ihre Arbeit gerne

machen und stolz sind, „Eisenbahner“ zu sein, sind sie bei Großstörungen als zwischenmenschliche Problemlöser*innen auf sich gestellt. Auch im Unternehmen kämpfen sie immer wieder um ihre Rolle. So äußert eine Servicekraft:

> „Darf man auch Kritik an der, an der Superchefetage, also nicht bei uns in [Stadt A], sondern so generell? Ähm, einfach mehrmehr Wertschätzung für das, was wir hier unten leisten, leisten müssen mit den Situationen, denen wir ausgesetzt sind (räuspert sich). Ähm, da hat man schon oft mal so dieses Gefühl, dass es so ähm, dass einfach ein, so eine Geringschätzung einfach vorhanden ist, die stärken zwar immer so diese offiziell ‚Ja, die an der Front‘ und keine Ahnung, aber oft hat man so dieses Gefühl irgendwo nicht oder so, ne.“ (Interview Bea Z.694-700)

3. Diskussion: Gestaltung trotz Kontrolle?

Für mich steht nun die Frage im Mittelpunkt: Kann es eine Gestaltung trotz der umfassenden Kontrolle durch digitale Tools geben? Festzuhalten ist: Digitale Tools, wie beispielsweise das Programm „Pia“, sind mehr als nur Hilfsmittel für die Beschäftigten, sondern üben umfassende Kontrolle aus. Die Rolle der Servicekräfte bei der Gestaltung der postmodernen Transformation in Unternehmen, insbesondere im Zuge der Mediatisierung sollte m.E. nach hoch eingeschätzt werden. Selbst wenn die Strukturen vom Management vorgegeben werden, bleibt die praktische Umsetzung, die mit komplexen Anforderungen verbunden ist, entscheidend. Ein qualitativer Ansatz ermöglicht es, subtile, oft unterschätzte und vielfältige Gestaltungsaspekte zu beleuchten und die Praxis kritisch zu reflektieren.

4. Literatur

Baxter JS; Heinrich AJ; Marguin S; Sommer V (Hg.) (2025): Spacetimes matter. A collection of mapping methodologies. Berlin, Boston: jovis. https://www.degruyterbrill.com/isbn/9783986122522

Berger PL; Luckmann T (1987): Die gesellschaftliche Konstruktion der Wirklichkeit. Eine Theorie der Wissenssoziologie. Frankfurt a. M.: Fischer Taschenbuch Verlag.

Breidenstein G; Hirschauer S; Kalthoff H; Nieswand B (2020): Ethnografie. Die Praxis der Feldforschung. München: UVK Verlag.

Bernroider L., Knoblauch H; Löw M (2021). Der Sonderforschungsbereich (SFB) 1265 „Re-Figuration von Räumen“. Einblicke in einen Forschungsverbund zur interdisziplinären Raumforschung. sozialraum.de, 13(2). https://www.sozialraum.de/der-sonderforschungsbereich-sfb-1265-re-figuration-von-raeumen.php

Knoblauch H; Löw M (2025): Refiguration und Transformation. Theoriearchitekturen für die Diagnose des gegenwärtigen sozialen Wandels. In: Berliner Journal für Soziologie 35 (1), S. 1–10. DOI: https://doi.org/10.1007/s11609-025-00554-7.

Löw M (2001): Raumsoziologie. 1. Aufl. Frankfurt a. M.: Suhrkamp Verlag.

Scholz & Volkmer GmbH (2026): DB Info 4.0 Pia. Die Info-App, mit der man Bahnhof versteht. https://www.s-v.de/de/projekte/db-info-40-pia/

Danksagung: Ein großer Dank gilt den verschiedenen Akteur*innen des Unternehmens für die engagierte Ermöglichung dieser Einblicke und dem Team des Lehrstuhls für Betriebspädagogik für die alltägliche Unterstützung.

Der Einfluss negativer Kundenverhaltensweisen auf Burnout und Kündigungsabsichten: Die moderierende Rolle organisationaler Ressourcen

Jamila JANITZKY[1], Jonas WEHRMANN[1], Annette KLUGE[2]

[1] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund
[2] Arbeits-, Organisations- und Wirtschaftspsychologie, Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, A-44780 Bochum

Kurzfassung: Die Erforschung der Arbeit an und mit Menschen hat in den letzten zwei Jahrzehnten innerhalb der arbeitswissenschaftlichen Forschung an Bedeutung gewonnen. In diesem Zusammenhang rücken zunehmend auch die negativen Seiten von Interaktionsarbeit in den Fokus, insbesondere die Auswirkungen eines negativen Kundenverhaltens auf die Gesundheit von Beschäftigten. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die potenziell puffernden Effekte organisationaler Ressourcen erforscht. Untersucht wurde mittels eines längsschnittlichen Studiendesigns, inwiefern diese den Zusammenhang zwischen negativem Kundenverhalten und Burnout sowie der Kündigungsabsicht moderieren. Entgegen der Erwartungen zeigen die Ergebnisse keine signifikanten Moderationseffekte organisationaler Ressourcen.

Schlüsselwörter: Interaktionsarbeit, Psychische Belastung, negatives Kundenverhalten, Ressourcen, menschengerechte Arbeitsgestaltung

1. Einleitung

Vor dem Hintergrund der Verschiebung der modernen Arbeitswelt zu einer Dienstleistungsgesellschaft hat die Erforschung von Interaktionsarbeit in den letzten zwei Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung gewonnen (Dörflinger 2022). So waren im Jahr 2024 75,6 Prozent der Gesamtbeschäftigten im Dienstleistungssektor tätig (Statistisches Bundesamt [Destatis] 2026a). Ein charakteristisches Merkmal von Interaktionsarbeit ist der direkte Kontakt mit KundInnen, KlientInnen und vergleichbaren Personengruppen. Dabei stellt der Umgang mit unhöflichen, respektlosen und aggressiven KundInnen für viele Dienstleistende einen integralen Bestandteil ihres Arbeitsalltags dar (Wehrmann 2025). Zahlreiche Studien belegen, dass negatives Kundenverhalten mit Beeinträchtigungen des Wohlbefindens und der Gesundheit einhergeht (z. B. Sommovigo et al. 2019; Yang et al. 2020). Während die Wirkung negativer Kundenverhaltensweisen vielfach untersucht wurde, ist bislang weniger dazu bekannt, inwiefern organisationale Ressourcen diese negativen Effekte abmildern können (Volmer et al. 2012).

Auf Basis der modelltheoretischen Annahmen des Job Demands-Resources-Modells (JD-R) untersuchte die vorliegende Studie Zusammenhänge negativen Kundenverhaltens mit Burnout (emotionale Erschöpfung, Depersonalisation) sowie der Kündigungsabsicht (Turnover Intention) (Bakker et al. 2005). Zudem wurde geprüft, ob organisationale Ressourcen (ausreichender Interaktionsspielraum, interaktionsorientierte Führung oder Vorhandensein von Schutzmaßnahmen vor

Übergriffen durch KundInnen) diese Zusammenhänge moderieren. Ziel der vorliegenden Studie war es, einerseits die Auswirkungen negativen Kundenverhaltens auf das Wohlbefinden und die Gesundheit von Beschäftigten zu verdeutlichen und andererseits die Bedeutung organisationaler Ressourcen für eine menschengerechte Gestaltung von Interaktionsarbeit aufzuzeigen. Das zugrundeliegende Untersuchungsmodell ist in Abbildung 1 dargestellt.

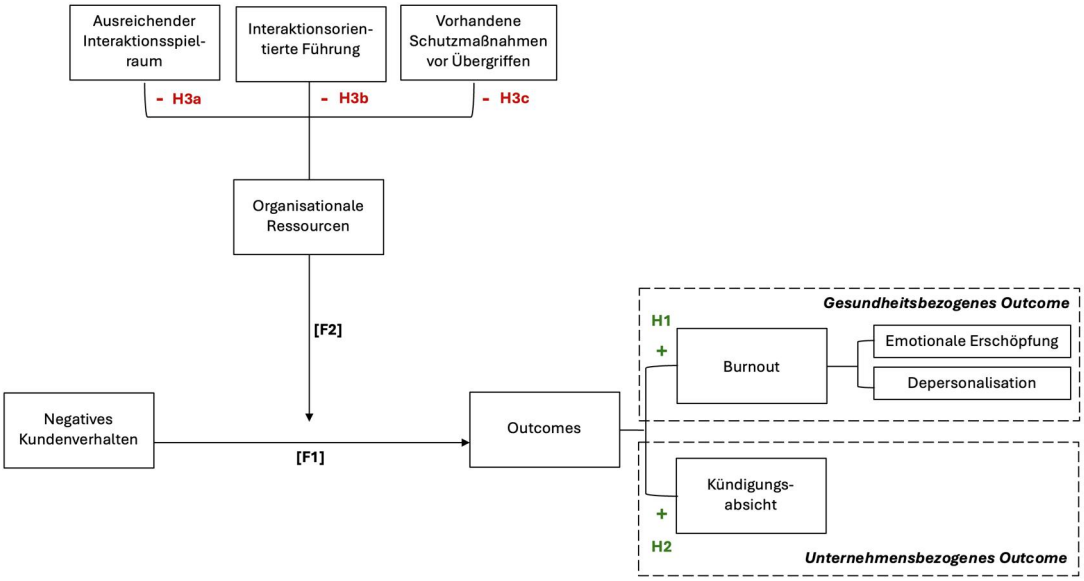


***Abbildung 1**: Untersuchungsmodell mit der Prädiktorvariable (Negatives Kundenverhalten), Moderatorvariablen (Organisationale Ressourcen) und Kriteriumsvariablen.*

2. Forschungsdesign und Methodologie

2.1 Design und Ablauf

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um ein längsschnittliches Studiendesign mit zwei Messzeitpunkten. Die vorliegende Untersuchung basiert auf Daten einer Studie zur Validierung eines Instruments zur Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung bei Interaktionsarbeit [GBU-IA Fragebogen] (Wehrmann 2025). Dabei wurde die Studie von der *Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin* [BAuA] initiiert, koordiniert und durchgeführt; die Datenerhebung mittels eines Online-Fragebogens erfolgte durch einen Panelanbieter. Die erste Erhebungswelle fand von 03.2025 bis 04.2025 und die zweite Erhebungswelle von 08.2025 bis 10.2025 statt. Die Studie wurde vorab auf der Plattform *Open Science Framework* [OSF] preregistriert (https://osf.io/tsqb7/overview, Preregistrierungsdatum: 01.12.2025, derzeit unter Embargo bis 31.03.2026).

2.2 Stichprobe

Die erste Erhebungswelle umfasste n_1 = 1039 Teilnehmende; die zweite Erhebungswelle umfasste n_2 = 858 Teilnehmende. In die vorliegenden Analysen wurden ausschließlich die Daten jener Personen einbezogen, die an beiden Erhebungszeitpunkten teilgenommen hatten, um eine längsschnittliche Auswertung zu ermöglichen (N = 514)

Bei der Erhebung wurde gezielt versucht, sich an der soziodemografischen Zusammensetzung des Zensus Deutschland – insb. in Hinblick auf Alters- und Geschlechterverteilung – für den Dienstleistungssektor zu orientieren (Statistisches Bundesamt 2018, 2026b). Die Stichprobe setzte sich zu einem geringfügig höheren Anteil aus weiblichen Beschäftigten zusammen (52,3 %). Das mittlere Alter lag bei *M* = 46,41 Jahren (*SD* = 11,66).

2.3 Materialien und Messinstrumente

Die interessierenden Prädiktor-, Moderator- und Kriteriumsvariablen wurden mit Hilfe validierter Skalen erfasst. Hierbei wurden negatives Kundenverhalten sowie organisationale Ressourcen mit Hilfe des Instruments zur Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung von Interaktionsarbeit [GBU-IA] erhoben (Wehrmann 2025). In Tabelle 1 sind die gemessenen Konstrukte sowie die verwendeten Skalen dargestellt.

Tabelle 1: *Gemessene Konstrukte: Instrumente, Itemanzahl, Cronbachs Alpha (α), Wertebereich.*

	Konstrukt	Skalen	Quelle	Items (α)	Likert-Skala
Negatives Kunden-verhalten (aggregiert)	Negatives Kundenverhalten	Aggregierte Subskalen Unhöfliches Kundenverhalten, Aggressives Kundenverhalten, Negatives arbeitsbezogenes Kundenverhalten [GBU-IA]	Wehrmann (2025)	17 (0.93)	1; 4
Organisationale Ressourcen	Ausreichender Interaktionsspielraum	Ausreichender Interaktions-spielraum [GBU-IA]	Wehrmann (2025)	3 (0.73)	1; 4
	Interaktionsorientierte Führung	Interaktionsorientierte Führung [GBU-IA]	Wehrmann (2025)	4 (0.88)	1; 4
	Schutzmaßnahmen vor Übergriffen	Organisatorische Maßnahmen [GBU-IA]	Wehrmann (2025)	3 (0.95)	1; 4
Outcomes	Burnout	Emotionale Erschöpfung [MBI-HSS]	Büssing & Perrar (1992)	9 (0.92 T1; 0.93 T2)	1; 6
		Depersonalisation [MBI-HSS]		5 (0.76 T1; 0.80 T2)	
	Kündigungsabsicht	Turnover Intention [COPSOQ]	FFAW (2024)	2 (0.86 T1; 0.82 T2)	1; 5

Anmerkungen. Subskalen des GBU-IA: Skala 1 = “trifft gar nicht zu” bis 4 = “trifft voll zu”, Burnout- Subskalen: Skala 1 = “nie” bis 6 = “jeden Tag”, Subskala Kündigungsabsicht: Skala 1 = “nie” bis 5 = “jeden Tag”. Zusätzlich gab es für jedes Item die Antwortoption „Keine Angabe“. Alle Items wurden in deutscher Sprache erfasst.

In der vorliegenden Studie wurden zudem Alter und Geschlecht als Kontrollvariablen mit aufgenommen. Für die Hypothesentests wurde die Kontrollvariable Geschlecht dummy-kodiert. Die Auswahl der Kontrollvariablen basiert auf theoretischen Überlegungen aus der herangezogenen Literatur, die darauf hinweist, dass Geschlecht und Alter einen Einfluss auf die untersuchten Zusammenhänge haben (Dormann et al. 2017).

2.4 Statistisches Vorgehen

Zur Prüfung der Hypothesen wurden (moderierte) Pfadanalysen mit autoregressiven Effekten für die Kriteriumsvariablen (unter Kontrolle der T1-Ausprägung) durchgeführt (s. Abbildung 1). Um die Interaktionseffekte zu testen, wurde neben den entsprechenden Prädiktor- und Moderatorvariablen jeweils ein Interaktionsterm (Prädiktorvariable (T1) x Ressource (T1)) in das Modell aufgenommen. Alle Prädiktor- und Moderatorvariablen wurden vor Durchführung der Hypothesentests standardisiert.

3. Ergebnisse

3.1 Deskriptive Statistiken

Die deskriptiven Statistiken, Reliabilitäten (Cronbachs Alpha) und bivariaten Korrelationen der verwendeten Skalen sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: *Deskriptive Statistiken, Cronbachs Alpha und bivariate Korrelationen.*

	M	***SD***	***α***	**NK**	**EE T1**	**EE T2**	**DP T1**	**DP T2**	**KA T1**	**KA T2**	**ISP**	**IF**
Alter	46.41	11.66										
Geschlecht	1.48	0.50										
NK	2.09	0.60	.93	-								
EE T1	2.70	1.16	.92	**.42*** **	-							
EE T2	2.67	1.19	.93	**.36*** **	**.76*** **	-						
DP T1	2.10	1.03	.76	**.54*** **	**.56*** **	**.43*** **	-					
DP T2	2.13	1.09	.80	**.43*** **	**.41*** **	**.56*** **	**.64*** **	-				
KA T1	1.85	1.01	.86	**.23*** **	**.61*** **	**.51*** **	**.38*** **	**.28*** **	-			
KA T2	1.84	0.96	.82	**.22*** **	**.57*** **	**.64*** **	**.33*** **	**.40*** **	**.70*** **	-		
ISP	2.85	0.71	.73	-.08	**-.19*** **	**-.21*** **	-.06	-.05	**-.15** **	**-.22*** **	-	
IF	2.81	0.85	.88	**-.10* **	**-.25*** **	**-.23*** **	**-.14** **	**-.14** **	**-.28*** **	**-.27*** **	**.10* **	-
SM	2.08	1.02	.95	**.21*** **	-.05	-.05	**.13** **	**.11* **	-.07	-.08	**.16*** **	**.32*** **

Anmerkungen. Geschlecht (1 = weiblich, 2 = männlich, 3 = divers/nicht-binär, 4 = keine Angabe); NK = Negatives Kundenverhalten (T1); EE = Emotionale Erschöpfung (T1 und T2); DP = Depersonalisation (T1 und T2); KA = Kündigungsabsichten (T1 und T2); ISP = Interaktionsspielraum (T1); IF = Interaktionsorientierte Führung (T1); SM = Schutzmaßnahmen vor Übergriffen (T1). *N* = 514. Korrelationskoeffizienten nach Pearsons *r*. ***p < .001, **p < .01; *p < .05 (zweiseitig).

3.2 Hypothesentests: Haupteffekte

Tabelle 3: *Ergebnisse der Hypothesentests für die Haupteffekte.*

	Kriterium: EE				Kriterium: DE				Kriterium: KA			
Prädiktor	b	SE	*β*	p	b	SE	*β*	p	b	SE	*β*	p
NK	0.03	0.04	.02	.462	0.12	0.04	.11	.005**	0.04	0.03	.04	.192
AR	0.76	0.03	.74	<.001 ***	0.58	0.04	.55	<.001 ***	0.64	0.03	.68	<.001 ***
Alter	-0.13	0.04	-.11	<.001 ***	-0.13	0.04	-.12	<.001 ***	-0.08	0.03	-.09	.008**
GE	0.02	0.07	.01	.752	0.24	0.07	.11	.001**	-0.05	0.06	-.02	.466
	R^2 = .588				R^2 = .442				R^2 = .496			

Anmerkungen. EE = Emotionale Erschöpfung; DE = Depersonalisation; KA = Kündigungsabsichten; NK = Negatives Kundenverhalten; AR = Autoregressiver Effekt des Kriteriums; GE = Geschlecht. *b* = unstandardisierter Koeffizient; *SE* = Standardfehler; β = standardisierter Koeffizient. R^2 = erklärte Varianz im Kriterium zu T2. *N* = 514. ***p < .001, **p < .01; *p < .05 (zweiseitig).

In allen Modellen zeigten sich starke autoregressive Effekte der Kriteriumsvariablen emotionale Erschöpfung, Depersonalisation und Kündigungsabsichten, was auf eine hohe zeitliche Stabilität dieser Konstrukte hindeutet (Tabelle 3). Während der Haupteffekt von negativem Kundenverhalten sowohl auf emotionale Erschöpfung als auch auf Kündigungsabsichten nicht signifikant war, bestand für Depersonalisation ein kleiner signifikant positiver Haupteffekt. Das bedeutet, dass negatives Kundenverhalten Depersonalisation über die zeitliche Stabilität des Kriteriums hinaus vorhersagte.

Über alle Modelle hinweg zeigte sich ein signifikanter negativer Einfluss des Alters. Ältere Beschäftigte berichteten also konsistent geringere Ausprägungen des jeweiligen Belastungsindikators im Vergleich zu jüngeren Beschäftigten. Das

Geschlecht hatte hingegen keinen signifikanten Effekt, mit Ausnahme eines kleinen Effekts auf die Depersonalisation.

3.3 Hypothesentests: Interaktionseffekte

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Hypothesentests für die Interaktionseffekte für alle drei Moderatorvariablen dargestellt. Die Moderationsanalyse zeigt, dass keiner der angenommen Interaktionseffekte signifikant wurde. Somit lässt sich kein moderierender Einfluss des Interaktionsspielraums, der Führung oder der Schutzmaßnahmen auf die Beziehung zwischen negativem Kundenverhalten und emotionaler Erschöpfung, Depersonalisation sowie Kündigungsabsicht feststellen.

Die Haupteffekte des Prädiktors negatives Kundenverhalten blieben konsistent und sagen Depersonalisation signifikant vorher. Bei den Moderatorvariablen zeigten sich überwiegend keine signifikanten Effekte; lediglich ein höherer Interaktionsspielraum sowie eine höher berichtete interaktionsorientierte Führung gingen jeweils mit leicht geringeren Kündigungsabsichten einher. Zusätzlich zeigte sich über alle Modelle hinweg ein signifikant negativer Effekt der Kontrollvariable Alter.

Tabelle 4: *Moderiertes Pfadmodell für den Moderator ausreichender Interaktionsspielraum.*

Prädiktor	Emotionale Erschöpfung				Depersonalisation				Kündigungsabsichten			
	b	SE	β	p	b	SE	β	p	b	SE	β	p
NK	0.03	0.04	.03	.433	0.12	0.04	.11	.005**	0.04	0.03	.04	.199
ISP	-0.06	0.04	-.05	.117	-0.00	0.04	-.00	.982	-0.09	0.03	-.09	.004**
NK x ISP	-0.01	0.03	-.01	.833	-0.03	0.04	-.03	.377	0.01	0.03	.01	.647
AR	0.75	0.03	.73	<.001 ***	0.58	0.04	.55	<.001 ***	0.63	0.03	.66	<.001 ***
Alter	-0.12	0.04	-.10	.001**	-0.13	0.04	-.12	<.001 ***	-0.07	0.03	-.07	.041*
GE	0.03	0.07	.01	.667	0.24	0.07	.11	.001**	-0.03	0.06	-.02	.595
NK	0.03	0.04	.02	.472	0.12	0.04	.11	.006**	0.03	0.03	.04	.280
IF	-0.05	0.04	-.04	.138	-0.07	0.04	-.06	.076	-0.08	0.03	-.09	.007**
NK x IF	0.01	0.03	.01	.859	-0.00	0.04	-.00	.970	0.04	0.03	.04	.221
AR	0.75	0.03	.73	<.001 ***	0.57	0.04	.54	<.001 ***	0.62	0.03	.66	<.001 ***
Alter	-0.13	0.04	-.11	<.001 ***	-0.14	0.04	-.12	<.001 ***	-0.09	0.03	-.09	.006**
GE	0.02	0.07	.01	.748	0.24	0.07	.11	.001**	-0.05	0.06	-.02	.459
NK	0.06	0.04	.05	.175	0.14	0.05	.12	.003**	0.04	0.03	.05	.197
SM	-0.05	0.04	-.04	.185	-0.01	0.04	-.01	.716	-0.05	0.03	-.05	.112
NK x SM	-0.05	0.03	-.04	.159	-0.04	0.04	-.04	.299	0.04	0.03	.04	.209
AR	0.75	0.03	.73	<.001 ***	0.58	0.04	.54	<.001 ***	0.64	0.03	.67	<.001 ***
Alter	-0.14	0.04	-.11	<.001 ***	-0.13	0.04	-.12	<.001 ***	-0.09	0.03	-.09	.007**
GE	0.04	0.07	.02	.592	0.24	0.08	.11	.001**	-0.03	0.06	-.02	.594

Anmerkungen. NK = Negatives Kundenverhalten; ISP = Ausreichender Interaktionsspielraum; AR = Autoregressiver Effekt; GE = Geschlecht (dummy-kodiert); IF = Interaktionsorientierte Führung; SM = Vorhandensein von Schutzmaßnahmen vor Übergriffen. *b* = unstandardisierter Koeffizient; *SE* = Standardfehler; β = standardisierter Koeffizient. *N* = 514. ****p* < .001, ***p* < .01; **p* < .05 (zweiseitig).

4. Diskussion und Fazit

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde die moderierende Wirkung ausgewählter organisationaler Ressourcen auf die Zusammenhänge zwischen negativem Kundenverhalten und Burnout sowie der Kündigungsabsicht untersucht, um potenziell puffernde Effekte organisationaler Ressourcen zu identifizieren (Bakker et al. 2005). Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die untersuchten Befindensindikatoren zeitlich sehr stabil sind; dennoch sagt negatives Kundenverhalten Depersonalisation signifikant über diese zeitliche Stabilität hinaus vorher. In der Zusammenschau der Ergebnisse konnte kein signifikanter Moderationseffekt der untersuchten organisationalen Ressourcen festgestellt werden. Dies steht in Widerspruch zu einigen Ergebnissen aus der Literatur (z.B. Bakker et al. 2005). Die nicht signifikanten Moderationseffekte könnten womöglich auf die spezifische Zusammensetzung der Stichprobe zurückzuführen sein oder auch darauf hinweisen, dass die betrachteten Ressourcen eher direkt statt moderierend wirken. Aufgrund der widersprüchlichen und nicht abschließend geklärten Befundlage sollten organisationale Ressourcen in Form konkreter arbeitsgestalterischer Maßnahmen weiter in Hinblick auf ihre protektive Wirkung untersucht werden.

5. Literatur

Bakker, A. B., Demerouti, E., & Euwema, M. C. (2005). Job Resources Buffer the Impact of Job Demands on Burnout. *Journal of Occupational Health Psychology*, *10*(2), 170–180. https://doi.org/10.1037/1076-8998.10.2.170

Büssing, A., & Perrar, K.-M. (1992). Die Messung von Burnout. Untersuchung einer deutschen Fassung des Maslach Burnout Inventory (MBI-D) [Measuring burnout: A study of a German version of the Maslach Burnout Inventory (MBI-D)]. *Diagnostica*, *38*(4), 328–353.

Dörflinger, N. (2022). Social interactions at work: Why interactive work should be an analytical category in its own right. *Employee Relations: The International Journal, 44*(7), 81–95.

Dormann, C., Brod, S., & Engler, S. (2017). Demographic Change and Job Satisfaction in Service Industries—The Role of Age and Gender on the Effects of Customer-Related Social Stressors on Affective Well-Being. *Journal of Service Management Research, 1*(1), 57–70. https://doi.org/10.15358/2511-8676-2017-1-57

Freiburger Forschungsstelle für Arbeitswissenschaften [FFAW]. (2024). *Deutsche Standard-Version des COPSOQ (Copenhagen Psychosocial Questionnaire)*.

Sommovigo, V., Setti, I., Argentero, P., & O'Shea, D. (2019). The impact of customer incivility and verbal aggression on service providers: A systematic review. *Work, 62*(1), 59–86.

Statistisches Bundesamt [Destatis]. (2018). Erwerbstätige im Durchschnitt 44 Jahre alt. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2018/11/PD18_448_122.html

Statistisches Bundesamt [Destatis]. (2026a). Erwerbstätige im Inland nach Wirtschaftssektoren. https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Konjunkturindikatoren/Lange-Reihen/Arbeitsmarkt/lrerw13a.html

Statistisches Bundesamt [Destatis]. (2026b). Erwerbsbeteiligung von Frauen nach Berufen. https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitsmarkt/Qualitaet-Arbeit/Dimension-1/erwerbsbeteiligung-frauen-berufe.html

Volmer, J., Binnewies, C., Sonnentag, S., & Niessen, C. (2012). Do social conflicts with customers at work encroach upon our private lives? A diary study. *Journal of Occupational Health Psychology, 17*(3), 304–315. https://doi.org/10.1037/a0028454

Wehrmann, J. (2025). *Stressoren und Ressourcen in der Interaktionsarbeit: Berücksichtigung spezifischer Belastungsfaktoren in der Gefährdungsbeurteilung*. Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-49104-8

Yang, F., Lu, M., & Huang, X. (2020). Customer mistreatment and employee well-being: A daily diary study of recovery mechanisms for frontline restaurant employees in a hotel. *International Journal of Hospitality Management, 91*, 102665. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2020.102665

Verbreitung der Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung – Ergebnisse einer Unternehmensbefragung

Stephan SANDROCK, Catharina STAHN

ifaa - Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V.
Uerdinger Str. 56, D-40474 Düsseldorf

Kurzfassung: Der Arbeitsschutz in Deutschland stellt hohe Anforderungen an Unternehmen. Dabei ist die sogenannte Gefährdungsbeurteilung ein zentrales Element des Arbeitsschutzes. Sie dient dem Erkennen von erforderlichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes für die Beschäftigten, damit eine Gefährdung für das Leben sowie die physische und die psychische Gesundheit möglichst vermieden und die verbleibende Gefährdung möglichst geringgehalten wird. Um Aufschluss über die Verbreitung der Gefährdungsbeurteilung insbesondere unter Berücksichtigung von Gefährdungen durch psychische Belastung zu erhalten, wurde eine Befragung von Unternehmensvertretern durchgeführt. Demnach führen über 80 % der befragten Unternehmen eine entsprechende Beurteilung durch. Die Ergebnisse werden in den Kontext weiterer Erhebungen eingeordnet und diskutiert.

Schlüsselwörter: Gefährdungsbeurteilung, Arbeits- und Gesundheitsschutz, psychische Belastung

1. Einleitung

Arbeitgeber in Deutschland haben ein hohes Maß an Verantwortung für ihre Beschäftigten, wobei sich zahlreiche Verpflichtungen u. a. aus dem gesetzlichen Arbeits- und Gesundheitsschutz ergeben. Neben der Organisation des Arbeitsschutzes hat der Arbeitgeber Maßnahmen des Arbeitsschutzes abzuleiten, die sich aus der Beurteilung der Arbeitsbedingungen ergeben. Zu dieser Beurteilung gehört nach Arbeitsschutzgesetz seit 2013 auch die Beurteilung von Gefährdungen durch sogenannte „psychische Belastungen bei der Arbeit“. Aus arbeitswissenschaftlicher und normativer Sicht kann psychische (Arbeits-)Belastung verstanden werden als die Gesamtheit der von außen auf Beschäftigte einwirkenden und erfassbaren Einflüsse (DIN EN ISO 10075-1:2018). Diese Gesamtheit der Belastung kann sich aus verschiedenen Facetten ergeben, nämlich z. B. aus Anforderungen der Arbeitsaufgabe und der Tätigkeit, der Arbeitsorganisation, der physikalischen Arbeitsumgebung und sozialen Faktoren. Zur Erhebung und Bewertung der Gefährdungen durch psychische Belastung stehen Arbeitgebern unterschiedliche Methoden und Verfahren zur Verfügung. Dabei kann es sich um Beobachtungen, Mitarbeiterbefragungen, Workshops oder Kombinationen der genannten halten.

Erkenntnisse zum Umsetzungsgrad der Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung liegen in Deutschland unter anderem durch Ergebnisse von Betriebsbesichtigungen und Dachevaluationen der Gemeinsamen Deutschen Arbeitsschutz-

strategie (GDA 2019) vor. Demnach hat sich die Anzahl der Unternehmen, die eine entsprechende Beurteilung der Arbeitsbedingungen vornehmen, in den letzten Jahren erhöht. Auch Darstellungen von Befragungen von Beschäftigtenvertretungen (Betriebs- und Personalräten) durch gewerkschaftsnahe Institute ist zu entnehmen, dass der Anteil der Betriebe, die psychische Faktoren in der Gefährdungsbeurteilung berücksichtigen, in den letzten Jahren deutlich gestiegen ist (vgl. Ahlers & Villalobos 2023). Dabei ist aber immer noch auffällig, dass Unterschiede hinsichtlich der Betriebsgröße existieren. Der Anteil der Unternehmen, die psychische Faktoren in der Gefährdungsbeurteilung berücksichtigen, ist den Erhebungen zufolge bei KMU und KKU geringer als bei größeren Unternehmen (GDA 2025).

2. Methoden

Um weiteren Aufschluss über die Verbreitung der Gefährdungsbeurteilung insbesondere in der Metall- und Elektroindustrie und den dort jeweils verwendeten Methoden zu erlangen, wurde durch das ifaa eine Befragung von Unternehmen durchgeführt. Die Metall- und Elektroindustrie ist mit (Stand 2024) über 7300 Unternehmen und 2.4 Mio. Beschäftigten ein bedeutender Wirtschaftszweig (Gesamtmetall 2025) und derzeit von starken strukturellen Herausforderungen betroffen. Die Erhebung erfolgte online über die Plattform SoSci Survey (Leiner 2024) im Zeitraum von August bis November 2025. Die Verbreitung des Fragebogens erfolgte über diverse Arbeitgeberverbände der Metall- und Elektroindustrie via Newsletter und Rundschreiben über social Media wie über die Plattform LinkedIn.

Die Befragung beinhaltet zwei Aspekte psychischer Gesundheit; ein Fokus liegt dabei auf der Fürsorge für von psychischen Störungen betroffener Beschäftigter. Dazu gehören Kenntnisse über psychische Gesundheit und psychische Störungen und über Hemmnisse im Umgang damit. Über diese Ergebnisse wird im Beitrag von Stahn und Sandrock (2026) in diesem Band berichtet.

Gegenstand des vorliegenden Beitrags sind die Verpflichtungen aus dem Arbeitsschutzgesetz, insbesondere die Berücksichtigung psychischer Belastungsfaktoren in der Gefährdungsbeurteilung sowie die jeweiligen Methoden zu deren Erfassung und Beurteilung im Sinne einer präventiven Arbeitsgestaltung. Um Aussagen über die Verbreitung zu erhalten, sind Unternehmensgröße und die jeweilige Branche zu berücksichtigen. Ferner wurde erhoben, welche Experten aus den Unternehmen bei der Gefährdungsbeurteilung beteiligt sind.

An der Befragung nahmen insgesamt 293 Unternehmen teil, davon konnten je nach Fragestellung 226 vollständige Datensätze berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse werden deskriptiv statistisch ausgewertet.

3. Ergebnisse

Im Abschnitt werden relevante Ergebnisse der Stichprobenzusammensetzung sowie der Fragestellungen dargestellt und erläutert.

3.1 Stichprobe

Entsprechend der Frage, in welchem Bundesland sich der Unternehmensstandort, an dem die Befragten arbeiten, befindet, stammen knapp 55 % der Befragten aus

Nordrhein-Westfalen, knapp 10 % aus Baden-Württemberg und 8% aus Bayern, bzw. 9 % aus der Region Berlin und Brandenburg. Die übrigen Bundesländer variieren zwischen 0,7 % (Thüringen, Sachsen, Sachsen-Anhalt) und 6 % (Rheinland-Pfalz). Die Branchen Maschinenbau (WZ 28, 18 %) und Herstellung von Metallerzeugnissen (WZ 25, 15 %) sind am stärksten vertreten, gefolgt von Elektrotechnik (WZ 26, 27, 9,5 %) und Metallerzeugung und Gießereien (WZ 24, 7 %)

Sonstige Nennungen (ca. 22 %) verteilen sich auf die 5 Cluster Industrie, Handel, Gesundheit, Dienstleistungen, Finanzen.

Abbildung 1 zeigt die Verteilung der Befragten nach Unternehmensgröße, dabei stellen kleine Unternehmen bis 99 Beschäftigten mit ca. 31 % den größten Anteil.

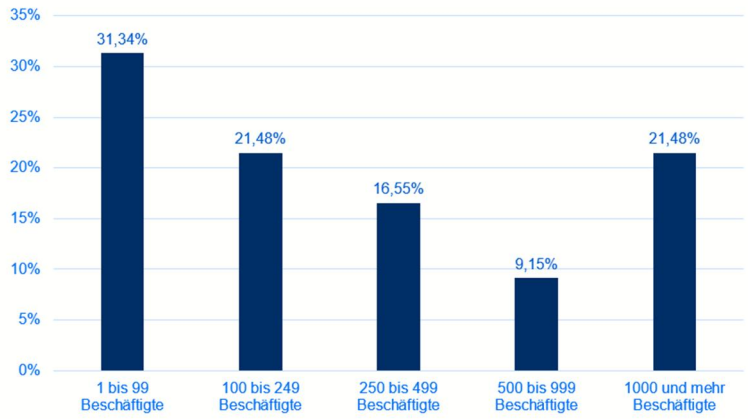


***Abbildung 1**: Verteilung der Befragten nach Unternehmensgröße (N=284).*

3.2 Ergebnisse der Befragung

Zunächst wurde erhoben, ob den Befragten bekannt ist, ob im Unternehmen überhaupt eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt wird.

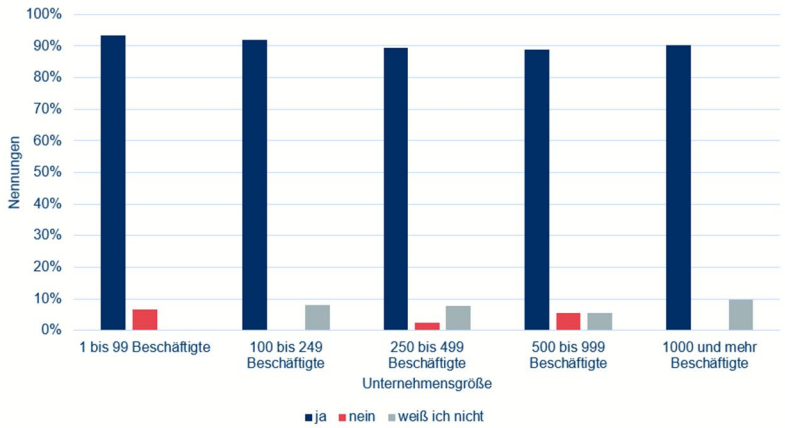


***Abbildung 2:** Frage: Wird in Ihrem Betrieb eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt (N=232) Darstellung der prozentualen Verteilung der Antworten in Abhängigkeit der Unternehmensgröße.*

Abbildung 2 stellt die relativen Antworthäufigkeiten in Abhängigkeit der Unternehmensgröße dar. Maximal 6,7 % der Befragten, dies betrifft die Unternehmen von 1-99 Beschäftigten, verneinten diese Aussage. Der Grad der Zustimmung variiert von 89 % bis knapp 94 %. Denjenigen Unternehmen, die der Aussage zustimmten,

wurde im Folgenden die Frage gestellt, ob in der Gefährdungsbeurteilung auch Gefährdungen durch psychische Belastung erfasst werden. Dazu konnten die Antworten von 208 Personen berücksichtigt werden. Die Verteilung der Antworten in Abhängigkeit der Unternehmensgröße ist in Abbildung 3 dargestellt.

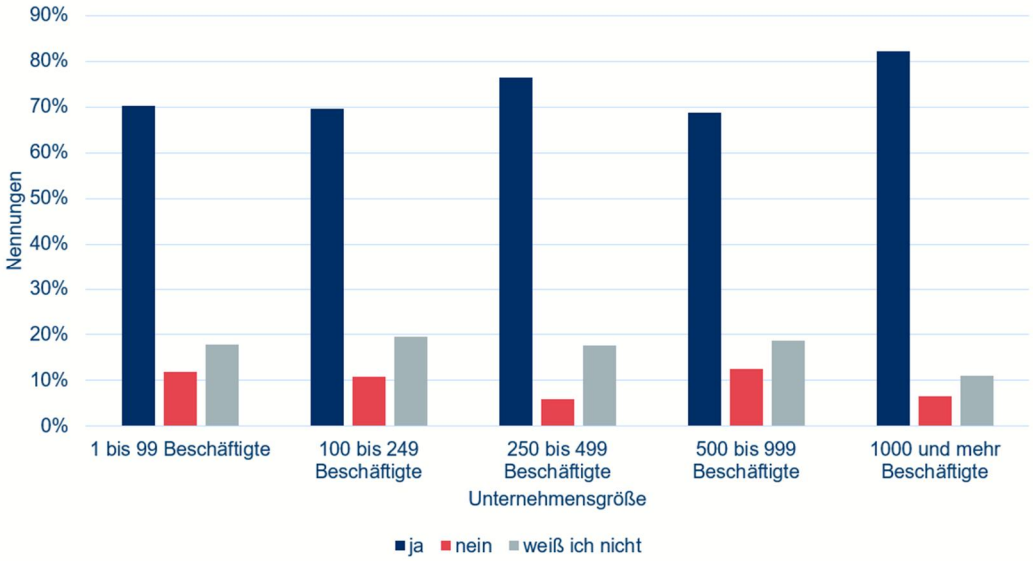


Abbildung 3: *Frage: Werden bei der Gefährdungsbeurteilung auch Gefährdungen durch psychische Belastung erfasst? (N=208) Darstellung der prozentualen Antworten in Abhängigkeit der Unternehmensgröße.*

Die Ergebnisse zeigen, dass die befragten Unternehmen mehrheitlich psychische Faktoren in der Gefährdungsbeurteilung berücksichtigen. Allerdings geben immerhin bis zu 12,5 % der Befragten in der Gruppe der Unternehmen zwischen 500-999 Personen an, dass dies (noch) nicht der Fall ist. Die Nein-Aussagen bei größeren Unternehmen über 100 Beschäftigte liegen im Vergleich mit 6,7 % deutlich darunter.

Es wurde mit Mehrfachwahlantwortmöglichkeit erhoben, welche Methoden zur Erhebung und Beurteilung psychischer Belastung im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zur Anwendung kommen. Am häufigsten werden Fragebögen verwendet (69,3 %), gefolgt von Beobachtungsinterviews mit 26,4 % und Workshops mit 19,7 %. Andere Methoden wurden von knapp 13 % der Befragten genannt.

Die Ergebnisse in Abhängigkeit der Unternehmensgröße zeigt Abbildung 4. Die prozentualen Anteile weichen von der Gesamtzahl ab, da eine anderen Bezugsgröße vorliegt. Fragebögen werden von mindestens 48 % der befragten Unternehmen verwendet, gefolgt von Beobachtungsinterviews, die von zwischen 13 und knapp 30 % der Unternehmen verwendet werden. Interessanterweise steigt der prozentuale Einsatz von Workshops mit der Unternehmensgröße und variiert von knapp 11 % bei kleinen Unternehmen bis über 19 % bei großen Unternehmen.

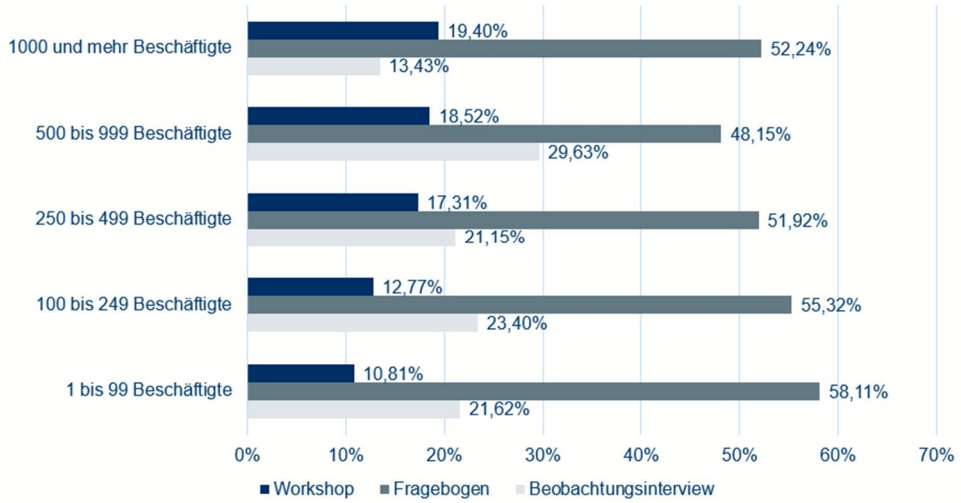


Abbildung 4: *Verwendete Erhebungsmethoden in Abhängigkeit der Unternehmensgröße (N=208), Mehrfachantworten möglich.*

Ferner wurde ebenfalls mit Mehrfachwahlantwortmöglichkeit erfragt, welche Stakeholder bei der Gefährdungsbeurteilung beteiligt sind. Mit 86 % wurden am häufigsten Führungskräfte genannt, gefolgt von der Arbeitsmedizin mit 70 %. Mit knapp 49 % wurde die Mitarbeitervertretung und mit 41 der Bereich HR genannt; auf die Rubrik sonstige fielen 40 %. Mit Blick auf die entsprechend folgenden 82 Freitextmeldungen ließ sich ein Hauptcluster ausmachen, nämlich der Bereich EHS und Fachkräfte für Arbeitssicherheit (63 %). Weitere Nennungen waren externe Dienstleister, Berufsgenossenschaften, Schwerbehindertenvertretung, BGM etc.

4. Diskussion und Ausblick

Die Erhebung sollte weiteren Aufschluss über das Vorkommen der Gefährdungsbeurteilung in deutschen Unternehmen sein. Grundsätzlich zeigen die Daten, dass die Unternehmen die entsprechenden Pflichten wahrnehmen, auch der Bereich der psychischen Belastung wird mehrheitlich betrachtet, die Erkenntnisse auch aus anderen Befragungen erscheinen zumindest vergleichbar.

Die Unterschiede zwischen den Unternehmensgrößen erscheinen nicht systematisch. Allerdings handelt es sich bei den teilnehmenden Unternehmen um eine anfallende Stichprobe, die Ergebnisse sind entsprechend bezüglich Verteilung auf Unternehmensgröße und Region und auch WZ-Klasse nicht als repräsentativ zu bewerten. Vermutlich ist auch nicht in Gänze auszuschließen, dass es sich bei den beteiligten Antwortenden um eine Positivauswahl handelt. Dennoch können die Ergebnisse dahingehend interpretiert werden, dass das Thema Gesundheit und Arbeitsschutz der Beschäftigten den deutschen Unternehmen ein Anliegen ist, und auch das Thema psychische Belastung einen entsprechenden Stellenwert besitzt. Zukünftig könnte es interessant sein, Ergebnisse aus Unternehmens- und Beschäftigtenbefragungen mit Daten der Aufsicht zu vernetzen, um ein noch kongruenteres Bild zu erhalten und abzuleiten, ob und in welchen Bereichen genau noch Beratungsbedarf besteht.

5. Literatur

Ahlers E, Villalobos VQ (2023): Betriebliche Arbeitswelt und Potenziale des Gesundheitsschutzes – Ergebnisse der WSI-Betriebs- und Personalrätebefragung 2021, WSI Report Nr. 89, Düsseldorf, 18 Seiten

DIN EN ISO 10075-1:2018-01 Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 1: Allgemeine Aspekte und Konzepte und Begriffe (ISO 10075-1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 10075-1:2017

Gemeinsame Deutsche Arbeitsschutzstrategie (GDA) (Hrsg.) (2019) Arbeitsschutz auf dem Prüfstand Abschlussbericht zur Dachevaluation der Gemeinsamen Deutschen Arbeitsschutzstrategie 2. Strategieperiode (https://www.gda-portal.de/DE/Downloads/pdf/Abschlussbericht-Dachevaluation-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=1) Zugriff: 10. Dezember 2025

Gemeinsame Deutsche Arbeitsschutzstrategie (GDA) (2025) (Hrsg.) https://www.gda-portal.de/SharedDocs/Downloads/DE/25-04-11_Psychische-Belastungen-Denkanstoesse, Zugriff: 12. Dezember 2025

Gesamtmetall (2025) Zahlenheft 2025, https://www.gesamtmetall.de/?download_file=zahlenheft_2025_din-a6_es, Zugriff 12. Dezember 2025

Leiner DJ. (2024) SoSci Survey (Version 3.5.02) [Computer software]. Zugriff 15. Dezember 2025. https://www.soscisurvey.de

Stahn C, Sandrock S (2026) Bedeutung von und Umgang mit psychischer Gesundheit – Ergebnisse einer Umfrage in deutschen Betrieben. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.) Frühjahrskongress 2026, Kassel - Menschengerechte Arbeitsgestaltung, GfA, Sankt Augustin

Bedeutung von und Umgang mit psychischer Gesundheit – Ergebnisse einer Umfrage in deutschen Betrieben

Catharina STAHN, Stephan SANDROCK

Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V. – ifaa
Uerdinger Str. 56, D-40474 Düsseldorf

Kurzfassung: Obwohl epidemiologische Studien nicht auf eine Zunahme psychischer Störungen hinweisen, bleibt deren Relevanz auch für das Arbeitsleben unbestritten. Betriebliche Praktiker benötigen Grundlagenwissen zu psychischen Störungen, um mögliche Betroffene adäquat anzusprechen und ihnen Unterstützung anzubieten. Wie es um das Thema psychische Gesundheit in deutschen Betrieben bestellt ist, hat das ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V. im Rahmen einer Online-Befragung ermittelt. Psychische Störungen sind mehrheitlich für die befragten Betriebe relevant. Die Informationspolitik zu Gesundheit im Allgemeinen und psychischer Gesundheit im Speziellen zeigt, dass es nach wie vor Bedarf an Information und Unterstützungsleistungen gibt.

Schlüsselwörter: Umfrage, Betriebe, psychische Gesundheit, psychische Störungen, Prävention, Tabuisierung

1. Einleitung

Psychische Störungen können die Lebensqualität und die Leistungsfähigkeit der betroffenen Personen enorm beeinträchtigen. Die Prävalenz psychischer Störungen ist hoch: Mehr als jeder vierte Erwachsene in Deutschland erlebt innerhalb eines Jahres eine psychische Störung (dgppn 2025a). Zu den häufigsten psychischen Störungen zählen Angststörungen (ca. 15,3 %), affektive Störungen (ca. 9,8 %, davon unipolare Depressionen mit ca. 8,2 %) sowie Beeinträchtigungen durch Alkohol- oder Medikamentenkonsum (ca. 5,7 %, dgppn 2025b)). Entsprechend spielen psychische Störungen auch für das Arbeitsumfeld eine bedeutende Rolle: Die aktuellen Gesundheitsberichte der gesetzlichen Krankenversicherungen (z. B. Techniker Krankenkasse 2025, DAK 2025) verweisen auf die Bedeutung psychischer Störungen, da sie zu den drei häufigsten Ursachen von Arbeitsunfähigkeit zählen.

Die entstehenden Ausfallzeiten können zu betrieblichen Produktivitätsverlusten führen. Hinzu kommt, dass Kolleginnen und Kollegen dann häufig einspringen und zusätzliche Aufgaben übernehmen müssen. Das wiederum kann ihre eigene Leistungsfähigkeit und ihr Wohlbefinden beeinträchtigen.

Auch wenn seriöse Informationen über psychische Störungen – aufbereitet bspw. durch die Krankenkassen oder Fachinstitutionen – generell verfügbar sind, scheinen Gesundheitswissen und -kompetenz bei körperlichen Erkrankungen stärker ausgeprägt zu sein. Es bestehen immer noch Vorurteile gegenüber Personen mit psychischen Störungen oder sie werden stigmatisiert (dgppn 2025c). Falsche Annahmen über psychische Störungen können zu abwertenden Haltungen führen, etwa dass Betroffene die Störung vortäuschen würden oder schlicht „zu schwach“ seien, um sich dagegen zu wehren. Wissenslücken können dazu beitragen, dass sich Menschen von den Betroffenen distanzieren, sei es aus Unsicherheit oder aus

Ablehnung heraus. Bei Betroffenen geht mit psychischen Störungen häufig ein Schamgefühl einher. Es besteht daher immer noch Aufklärungsbedarf, auch im betrieblichen Kontext.

Führungskräfte spielen aufgrund ihrer Fürsorgepflicht gegenüber ihren Beschäftigten eine wichtige Rolle. Sie sollten in der Lage sein, Veränderungen im Arbeits- und Sozialverhalten ihrer Beschäftigten zu erkennen und dies auch anzusprechen (Wiessmann 2021). Detailliertes Fachwissen zu einzelnen Störungsbildern benötigen sie dazu allerdings nicht. Ebenso wenig müssen sie in der Lage sein, Diagnosen zu stellen oder therapeutische Maßnahmen durchzuführen – hierzu gibt es professionelle Fachleute und Anlaufstellen. Betriebliche Praktiker benötigen jedoch niederschwellige Unterstützungsangebote, etwa um regionale Anlaufstellen zu nennen, vertrauliche Gespräche zu ermöglichen und betroffene Beschäftigte zu ermutigen, professionelle Hilfe in Anspruch zu nehmen.

2. Fragestellungen und Vorgehen

Um Einschätzungen von betrieblichen Akteuren zu verschiedenen Aspekten der psychischen Gesundheit zu bekommen, hat das ifaa eine Umfrage durchgeführt. Erstens wurde die Bedeutung von und der Umgang mit psychischer Gesundheit im Betrieb untersucht. Dabei interessierte besonders das Wissen über psychische Gesundheit und psychische Störungen sowie mögliche Hemmnisse (in Form von Tabuisierung) im Umgang mit Betroffenen. Weiterhin wurde nach psychischen Störungen im Betrieb gefragt und erhoben, ob die Befragten den Eindruck oder Kenntnisse haben, dass psychische Störungen im Arbeitskontext in den vergangenen Jahren zugenommen haben. Wichtig für eine praxisnahe Unterstützung war die Frage, welche spezifischen Bedarfe die Betriebe im Hinblick auf psychische Gesundheit sehen. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Frage, ob Betriebe Maßnahmen der Betrieblichen Gesundheitsförderung anbieten.

Zweitens richtete sich die Befragung auf die gesetzlichen Verpflichtungen aus dem Arbeitsschutzgesetz, insbesondere auf die Berücksichtigung psychischer Belastungsfaktoren innerhalb der Gefährdungsbeurteilung (s. Beitrag Sandrock & Stahn, in diesem Band).

Die Umfrage lief im Zeitraum von Juli bis November 2025 über die Online-Befragungsplattform Sosci Survey (Leiner 2024). Durch die Unterstützung diverser Arbeitgeberverbände der Metall- und Elektroindustrie, über Newsletter, social Media sowie über die Plattform LinkedIn wurde der Link zum Fragebogen verbreitet. Die Daten wurden in das MS Office-Programm Excel überführt und dort zur Ergebnisdarstellung bearbeitet.

3. Stichprobe und Ergebnisse

An der Befragung nahmen insgesamt 293 Betriebe teil, 226 Fragebögen wurden vollständig beantwortet. Je nach Fragestellung konnten somit unterschiedlich viele Datensätze berücksichtigt werden. Die überwiegende Mehrheit der Fragebögen stammt aus Betrieben, die verbandlich organisiert sind (knapp 80 %). Die Branchen Maschinenbau (17,67 %), Herstellung von Metallerzeugnissen (15,19 %) und Elektrotechnik (9,54 %) waren am stärksten vertreten.

Die meisten Befragten gehören Betrieben bis 99 Beschäftigten an (31,34 %). Betriebe mit 100 bis 249 Beschäftigten sowie mit 1000 und mehr Beschäftigten waren gleich stark vertreten (jeweils 21,48 %), gefolgt von Betrieben mit 250 bis 499 Beschäftigten (16,55 %) und 500 bis 999 Beschäftigten (9,15 %).

Psychische Störungen sind für die meisten Betriebe mehrheitlich relevant (N = 253): Die größte Relevanz zeigte sich mit 85,45 % bei Betrieben ab 1000 Beschäftigten, gefolgt von Betrieben zwischen 250 und 499 Beschäftigten (80,95 %). Betriebe zwischen 500 und 999 Beschäftigten gaben die Relevanz mit 71,43 % an, Betriebe zwischen 100 und 249 Beschäftigten mit 63,46 %. In Betrieben bis 99 Beschäftigte gaben 61,45 % an, dass psychische Störungen für sie relevant sind. Spezifisch sollte angegeben werden, in welcher Form psychische Störungen relevant sind (Hörensagen versus Wissen, N = 172). Dabei überwogen deutlich die Angaben aufgrund von Wissen über Betroffene: In Betrieben zwischen 500 und 999 Beschäftigten gaben 100 % an, dass es im Betrieb Betroffene gibt. Bei Betrieben bis 99 Beschäftigte waren es 93,88 %, gefolgt von Betrieben ab 1000 Beschäftigten (91,3 %) sowie Betrieben zwischen 250 und 499 Beschäftigten (90,32 %). Etwas niedriger fielen die Angaben von Betrieben zwischen 100 und 249 Beschäftigten mit 87,88 % aus.

Die Frage nach einer möglichen Zunahme psychischer Störungen in den letzten Jahren zeigt Abbildung 1.

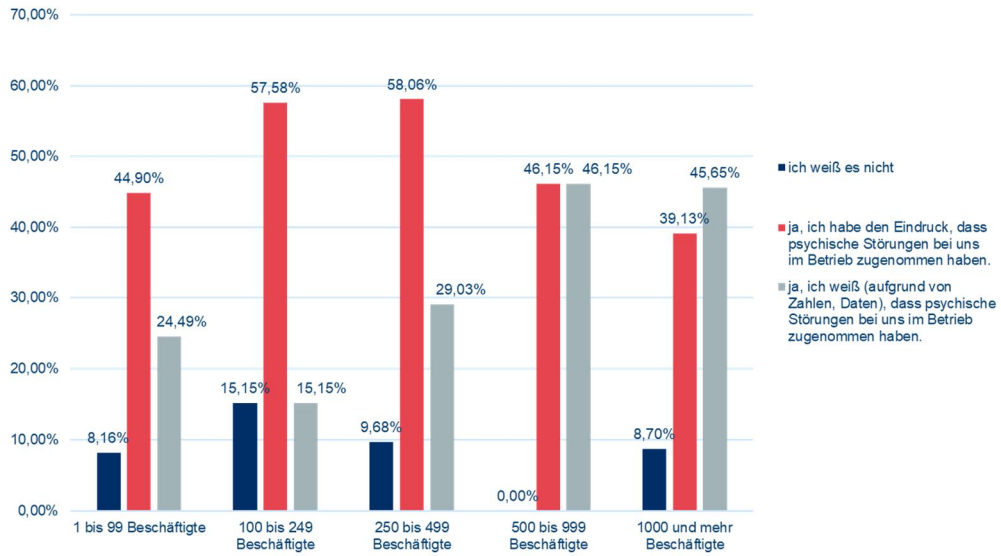


Abbildung 1: *Frage: Haben Sie den Eindruck (oder entsprechende Zahlen dazu), dass psychische Störungen im Arbeitskontext in den letzten Jahren zugenommen haben? (N=172) Darstellung der prozentualen Antworten in Abhängigkeit der Unternehmensgröße.*

Psychische Störungen werden übergreifend mehrheitlich nicht als Tabuthema eingeschätzt. In den Betrieben ab 1000 Beschäftigten zeigt sich die Tendenz zur Tabuisierung am stärksten (36,36 %). Gründe für eine mögliche Tabuisierung (Freitextanmerkung) wurden mittels MS Copilot geclustert: „Praktische Hürden: Zeit, Interesse, Ressourcen“, „Kommunikationsbarrieren und fehlende Offenheit“, „Angst, Schwäche und Leistungsdruck“, „Führungskultur und Unternehmensverantwortung“, „Männlich dominierte Unternehmenskultur“, „Scham und Stigmatisierung“, „Gesellschaftliche Tabuisierung und veraltete Denkmuster“, „Positive Entwicklungen und Potenziale“.

Es wurde gefragt, wie Führungskräfte über das Thema Gesundheit im Allgemeinen

sowie über die Bedeutung psychischer Störungen informiert werden. Hierbei interessierte, wie viele Führungskräfte „noch gar nicht“ informiert werden. Das höchste Ergebnis in dieser Antwortkategorie zur Gesundheit im Allgemeinen erzielten Betriebe zwischen 100 bis 249 Beschäftigten (19,23 %), gefolgt von Betrieben bis 99 Beschäftigten (15,66 %). Betriebe zwischen 250 und 499 Beschäftigten waren zu 7,14 % nicht informiert, 1000 und mehr Beschäftigte zu 5,45 %. Den geringsten Wert erzielten Betriebe mit 250 bis 499 Beschäftigten (4,76 %).

Der Informationsstand zum Thema psychische Gesundheit im Speziellen stellte sich wie folgt dar: In Betrieben mit 500 bis 999 Beschäftigten gaben 38,10 % an, dass „noch gar nicht“ über psychische Störungen informiert wurde, gefolgt von Betrieben mit 100 bis 249 Beschäftigten (26,92 %) und Betrieben bis 99 Beschäftigte (26,51 %). Betriebe mit 250 bis 499 Beschäftigten gaben mit 21,43 % an, noch gar nicht informiert zu sein. Den geringsten Wert erzielten Betriebe ab 1000 Beschäftigte (5,45 %). Abbildung 2 veranschaulicht die Antworten.

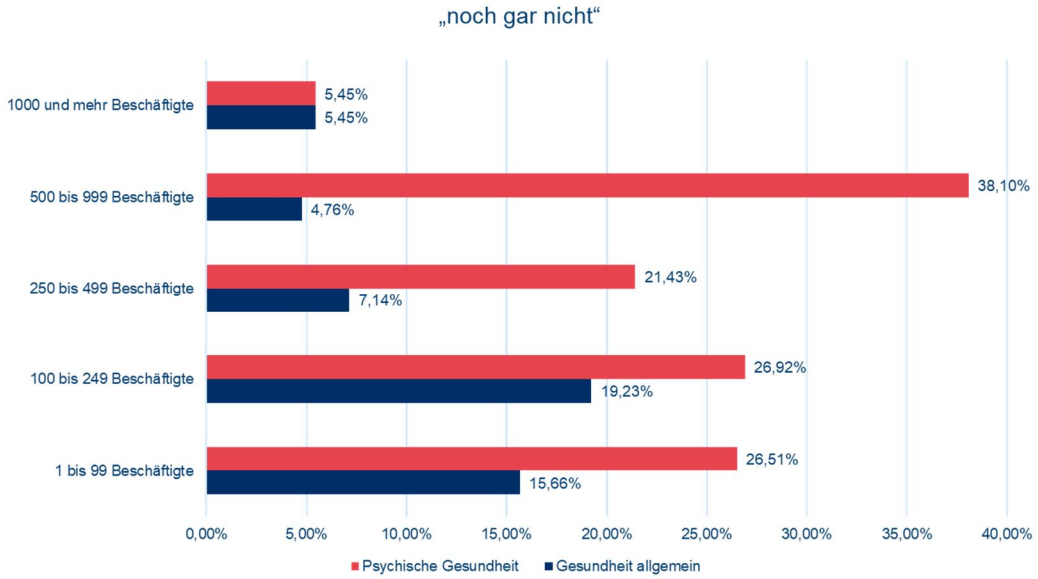


***Abbildung 2**: Frage: Wie werden Führungskräfte über das Thema Gesundheit im Allgemeinen informiert? Wie werden Führungskräfte über die Bedeutung psychischer Störungen informiert? (N=253) Darstellung der prozentualen Antworten in Abhängigkeit der Unternehmensgröße.*

Unterstützungsleistungen und/oder Informationen zum Thema psychische Gesundheit werden von mindestens 30 % der Betriebe gewünscht – und das unabhängig von der Größe (vgl. Abbildung 3). Die Angaben zur Unterstützung der Beschäftigten durch Angebote der freiwilligen Betrieblichen Gesundheitsförderung (BGF) variierten zwischen 59 % (1 bis 99 Beschäftigte) und 94,55 % (mehr als 1000 Beschäftigte).

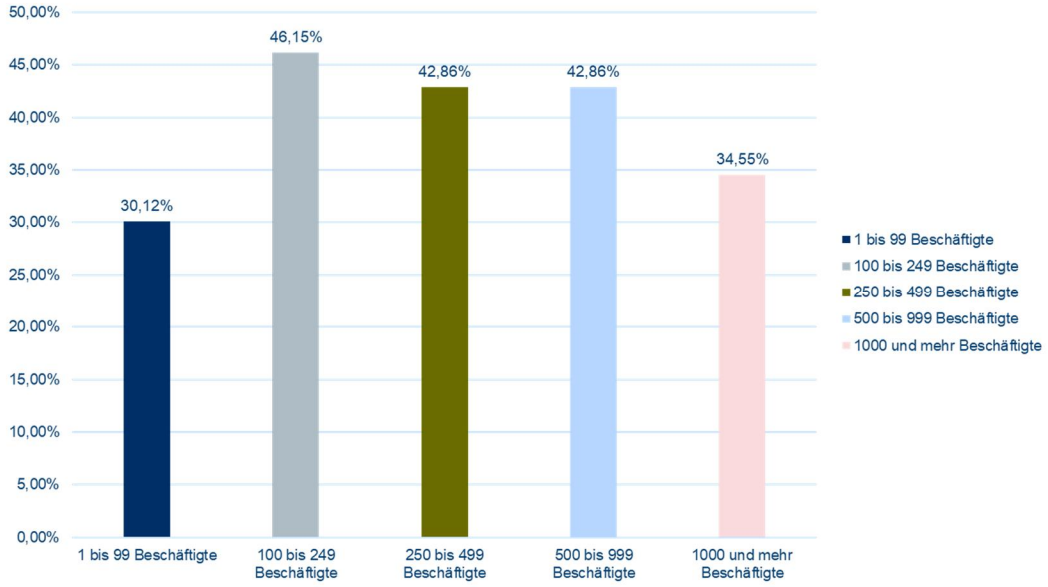


***Abbildung 3**: Frage: Benötigen Sie Unterstützungsleistungen und/oder Informationen zum Thema psychische Gesundheit? (N=253) Darstellung der prozentualen „ja"-Antworten in Abhängigkeit der Unternehmensgröße.*

4. Diskussion

Die erhobenen Daten wurden rein deskriptiv ausgewertet. Die mit der Umfrage gewonnenen Erkenntnisse werden als aktuelles Bild Stimmungsbild verstanden. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist ggf. zu berücksichtigen, dass an der Umfrage vor allem Betriebe teilgenommen haben, die das Thema psychische Gesundheit bereits als wichtig erkannt haben. Dies könnte auch eine Erklärung dafür sein, warum für die meisten Betriebe psychische Störungen kein Tabuthema sind.

Große Betriebe ab 1000 Beschäftigte scheinen insgesamt gut über (psychische) Gesundheit informiert zu sein. Möglicherweise verfügen diese über Ressourcen, bspw. in Form von Stabstellen zum Thema Gesundheit, die dann eine förderliche Rolle spielen können. Die Ergebnisse zeigen, dass mindestens 30% der Befragten Informationen, insbesondere praxisnahe Angebote zur Aufklärung und Sensibilisierung, benötigt. Arbeitgeberverbände könnten hier neben Krankenkassen und Rehabilitationsträgern unterstützen und Material zusammenstellen, auf Institutionen verweisen sowie Informationsveranstaltungen anbieten.

Zukünftige Forschung sollte die Wirksamkeit spezifischer Präventionsmaßnahmen sowie die Rolle organisationaler Rahmenbedingungen vertieft untersuchen. Darüber hinaus erscheint es sinnvoll, unternehmenskulturelle Unterschiede im Umgang mit psychischen Störungen zu analysieren. Ziel wäre es, aus den erfolgreichen Konzepten und Herangehensweisen einzelner Betriebe allgemeine Empfehlungen für Betriebe – auch unterschiedlicher Größe – abzuleiten und regionale Netzwerke aufzubauen bzw. Netzwerkarbeit zu intensivieren. Hilfreich erscheint es ebenfalls, wenn die von den Betrieben genannten Gründe, die zu einer Tabuisierung beitragen, systematisch betrachtet würden, um adäquates Informationsmaterial aufzubereiten und aufzuklären.

5. Ausblick

Gesundheit umfasst den körperlichen und den psychischen Bereich und kann auch im betrieblichen Kontext verankert sein – bspw. als fester Tagesordnungspunkt im Rahmen von Teambesprechungen, Führungskräftetreffen und auch bei Betriebsversammlungen. Neben dem Blick auf verbesserungswürdige Aspekte im betrieblichen Ablauf sollten auch bereits vorhandene Ressourcen betrachtet werden, die zur Aufrechterhaltung und Stärkung der Gesundheitskompetenz der Beschäftigten beitragen. Betriebe können ferner durch Aufklärung und Sensibilisierung von Beschäftigten und Führungskräften dieses Thema präsent machen. Die Betonung der Eigenverantwortung der Beschäftigten ist hierbei wesentlich. Generell sollten körperliche und psychische Gesundheitsprobleme gleichwertig behandelt und Prävention betrieben werden – schließlich sind die Chancen auf Besserung umso größer, je früher eine Störung erkannt wird. Ebenso wichtig ist es, Beschäftigten und Führungskräften Sinn und Nutzen des Betrieblichen Eingliederungsmanagement (BEM) nahezubringen und mögliche Vorbehalte zu nehmen. Ein wesentlicher Baustein sollte darin bestehen, alle Betriebsparteien zu motivieren, konstruktiv am Thema Gesundheit zu arbeiten und die Vorbildfunktion von Führungskräften und die Eigenverantwortung von Beschäftigten zu verdeutlichen. Zudem können Betriebe, die sich für Maßnahmen der freiwilligen Betrieblichen Gesundheitsförderung (BGF) interessieren, eine kostenlose Beratung bei den BGF-Koordinierungsstellen der Krankenkassen erhalten.

6. Literatur

DAK (Hrsg) (2025) Gesundheitsreport 2025. Analyse der Arbeitsunfähigkeiten Mythos Rekordkrankenstand. Generation Z in der Arbeitswelt. Zugegriffen 5. Dezember 2025. https://caas.content.dak.de/caas/v1/media/142382/data/8f878876acd7ba6e3076622bcc006219/gesundheitsreport2025-ebook.pdf.

Deutsche Gesellschaft für Psychiatrie, Psychotherapie, Psychosomatik und Nervenheilkunde e.V. (dgppn 2025a) Valide Antworten auf zahlreiche Fragen. Zugegriffen 12. Dezember 2025. https://www.dgppn.de/schwerpunkte/zahlenundfakten.html.

Deutsche Gesellschaft für Psychiatrie, Psychotherapie, Psychosomatik und Nervenheilkunde e.V. (dgppn 2025b) Basisdaten Psychische Erkrankungen. Zugegriffen 12. Dezember 2025. 2025_DGPPN_Basisdaten Psychische Erkrankungen.pdf.

Deutsche Gesellschaft für Psychiatrie, Psychotherapie, Psychosomatik und Nervenheilkunde e.V. (dgppn 2025b) Für Akzeptanz – gegen Ausgrenzung. Zugegriffen 19. Dezember 2025. Stigma - Schwerpunkte - DGPPN.

Gemeinsame Deutsche Arbeitsschutzstrategie (2022) Berücksichtigung psychischer Belastung in der Gefährdungsbeurteilung - Empfehlungen zur Umsetzung in der betrieblichen Praxis. Zugegriffen 11. Dezember 2025. https://www.gda-psyche.de/SharedDocs/Publikationen/DE/ broschuere-empfehlung-gefaehrdungsbeurteilung.html.

Leiner DJ. (2024) SoSci Survey (Version 3.5.02) [Computer software]. Zugegriffen 15. Dezember 2025. https://www.soscisurvey.de.

Sandrock S, Stahn C (2026) Verbreitung der Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung – Ergebnisse einer Unternehmensbefragung. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.) Frühjahrskongress 2026, Kassel - Menschengerechte Arbeitsgestaltung, GfA, Sankt Augustin

Techniker Krankenkasse (Hrsg) (2025) Gesundheitsreport 2025 – Macht das Wetter krank? Der Einfluss des Klimawandels auf die Arbeitswelt. Zugegriffen 5. Dezember 2025. https://www.tk.de/resource/blob/2194004/f1a0d12ee81bbbfce0ff7b1bf62ab418/gesundheitsreport-2025-data.pdf.

Wiessmann F (2021) Umgang mit psychisch beeinträchtigten Beschäftigten bei der Arbeit. DGUV forum 11: 11-12.

Mitarbeitenden-Bedenken und Ängste gegenüber einem Einsatz von KI im Unternehmen messen und mit partizipativen Ansätzen vermeiden

Tristan SCHADY, Viola HELLGE, Frank EIERDANZ, Oliver KEIM

Institut für Technologie und Arbeit e.V.
Eisenbahnstraße 40-42, D-67655 Kaiserslautern

Kurzfassung: Mitarbeitende können vielfältige Bedenken vor der Einführung von KI-Technologien im eigenen Unternehmen haben. Im Rahmen des Zukunftszentrums für menschzentrierte KI in der Produktionsarbeit (ZU-KIPRO), wurde ein Befragungsinstrument konzipiert, das Bedenken gegenüber KI-Einsatz messbar macht. Ergebnisse aus dem Einsatz in zwei Unternehmen weisen darauf hin, dass Mitarbeitende offen für neue Technologien sind, in der KI eher Vorteile für die eigene Arbeit erkennen und große Bereitschaft zeigen, sich dafür zu qualifizieren. Gleichwohl besteht ein hoher Bedarf an Information zu den geplanten Veränderungen und an frühzeitige Einbindung in Auswahl und Gestaltung der Systeme.

Schlüsselwörter: Bedenken, Wünsche, KI-Tools, Transformation, Partizipation, Mitgestaltung

1. Einleitung

Die Entwicklung neuer KI-Tools schreitet rasch voran. Was vor ein paar Jahren noch undenkbar war, ist heute bereits gelebte Realität und ist aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Auch Unternehmen versprechen sich durch die Einführung von KI-gestützten Systemen Effizienzgewinne in vielerlei Anwendungsfeldern. Jedoch können bei den Mitarbeitenden der jeweiligen Unternehmen bereits vielfältige Bedenken gegenüber KI entstanden sein oder noch entstehen.

Bei der Einführung von KI-Tools sollten die Mitarbeitenden diesen offen gegenüberstehen, um eine erfolgsversprechende Transformation starten zu können. Dafür ist es jedoch unerlässlich, die Bedenken der Mitarbeitenden zu kennen, um sie passend adressieren zu können.

2. Fachlicher Hintergrund

Die Einsatzmöglichkeiten von KI in Unternehmen sind vielfältig und dabei nicht an einzelne Branchen gebunden (Schaller et al. 2023). Durch den Einsatz von KI können sich erhebliche Vorteile was die Kosten, Zeit und Prozesse selbst betreffen einstellen, was zu einem neuen Wertschöpfungspotential führen kann (Schaller et al. 2023). Jedoch ist die Mehrheit der Mitarbeitenden in Unternehmen unsicher bezüglich eines Einsatzes von KI und hat vielfältige Bedenken (Peukert 2025). Eine der am häufigsten genannten Bedenken ist die Sorge davor, dass Arbeitsplätze durch KI gefährdet werden, wenn KI die Aufgaben der Mitarbeitenden übernimmt und somit deren Rolle im Unternehmen überflüssig macht (Peukert 2023). Dabei handelt es sich nicht um eine

Sorge, welche erst in den letzten Jahren entstanden ist, sondern um etwas, das bereits seit Jahren geäußert wird (Heinen et al. 2017). Ebenso wird befürchtet, dass KI den menschlichen Kontakt in der Arbeitswelt ersetzen kann, wodurch zukünftig lediglich der Austausch mit KI-Systemen stattfinden würde (Peukert 2025). Weitere Herausforderungen, die ggf. Widerstände bei Mitarbeitenden auslösen können, ist die Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Kontrollier-/Steuerbarkeit der Entscheidungen und Aktionen von KI-Systemen (Huchler et al. 2020). Diese Bedenken der Mitarbeitenden können zu Widerständen bei der Einführung von KI im Unternehmen führen, was diese erschwert.

Viele der Bedenken gehen darauf zurück, dass die Mitarbeitenden nicht wissen, wie KI funktioniert und was sich hinter dieser verbirgt (Peukert 2025; Ruess et al. 2024). Häufig werden die Mitarbeitenden in den Unternehmen zu wenig eingebunden und nicht ausreichend informiert zum geplanten Einsatz von KI (Ruess et al. 2024). Bedenken bzgl. der eigenen Arbeitsplatzsicherheit lassen sich dabei sowohl bei Mitarbeitenden mit Erfahrung im Umgang mit KI, als auch bei unerfahrenen erkennen (Büchel & Monsef 2024). Die erfahrenen Mitarbeitenden, welche überwiegend höhere Bildungsabschlüsse haben, äußern verstärkt, dass durch KI die eigene berufliche Qualifikation abgewertet wird (Büchel & Monsef 2024).

3. Aufbau der Befragung

Im Rahmen des Zukunftszentrums für menschzentrierte KI in der Produktionsarbeit (ZUKIPRO), welches innerhalb des Programms „Zukunftszentren“ durch das BMAS und den Europäischen Sozialfonds (ESF Plus) gefördert wird, wurde ein Befragungsinstrument konzipiert, das Bedenken von Mitarbeitenden gegenüber einem KI-Einsatz im Unternehmen messbar macht. Der Fragebogen enthält rund 65 Items zu den Themenfeldern persönliche Einstellungen zu KI, Erwartungen zu Veränderungen der eigenen Arbeit (Moring 2021), konkrete Bedenken für die eigene Person und den Betrieb (Lane et al. 2023; OECD 2023), erforderliche Kompetenzen im Umgang mit KI sowie Wünsche bzgl. der Einbindung in die KI-Einführung (IUBH 2020). Der Fragebogen setzt sich überwiegend aus geschlossenen Fragen zusammen, bei denen zumeist eine 5-stufige Likert-Skala zum Einsatz kommt. An mancher Stelle bietet der Fragebogen, durch offene Fragen, den Teilnehmenden die Möglichkeit, eigene Punkte zu nennen und ihre Meinung zu äußern.

Bisher wurde das Befragungsinstrument in zwei Unternehmen eingesetzt und es wurden jeweils sowohl Fach- (86%) als auch Führungskräfte (14%) befragt (n=152). Dies geschah im Zuge einer Beratungssituation zur Einführung von KI, bei der die Unternehmen ein Stimmungsbild der Belegschaft zum Thema Bedenken der Mitarbeitenden ggü. KI-Einsatz sowie deren Wünsche und Erwartungen zu KI erfassen wollten. In beiden Unternehmen wurde die Befragung in Form einer Onlineumfrage mit Hilfe von Limesurvey durchgeführt, mit einem anonymen Zugangslink.

Das erste Unternehmen[17], in dem der Fragebogen zum Einsatz kam, war zum Zeitpunkt der Befragung bereits mitten in der Umsetzung von KI- und Digitalisierungsprojekten. Die Befragung wurde hier im Zeitraum zwischen Juni und August 2024 durchgeführt. Dabei sind insgesamt 64 Datensätze in die Auswertung eingeflossen. Bei dem zweiten Unternehmen, welches in der Tourismus- und Reisebranche tätig ist, erfolgte

[17] Für das erste Unternehmen lag keine Einverständniserklärung vor, nähere Informationen über das Unternehmen teilen zu dürfen.

die Umfrage im November 2025. Es nahmen insgesamt 92 Beschäftigte an der Befragung teil, was einen Anteil von etwa 54% der Gesamtbelegschaft entspricht. Damit beläuft sich die Anzahl an Beschäftigten, welche insgesamt an den Befragungen teilgenommen haben und deren Antworten in die Auswertung einfließen, auf 156.

4. Ergebnisse

Die Datensätze aus der Befragung mit beiden Unternehmen wurden deskriptiv ausgewertet.

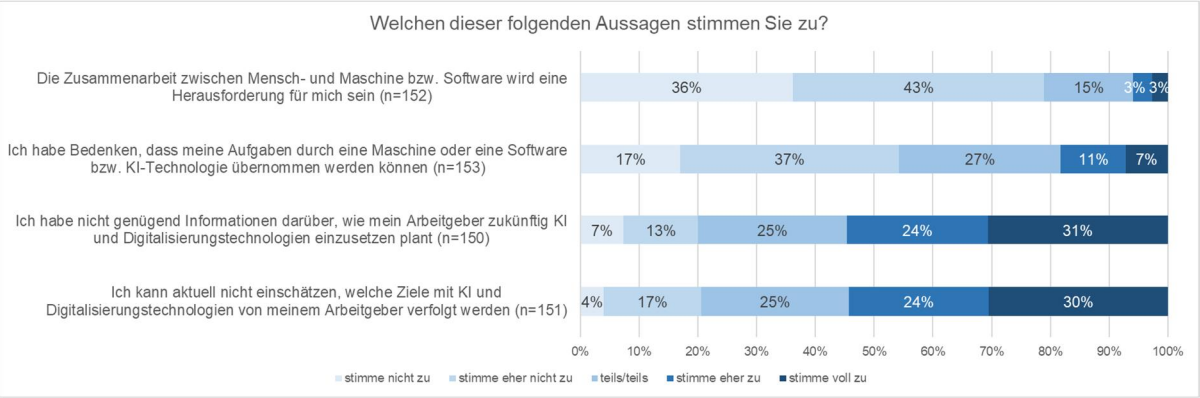


Abbildung 1: *Befragungsergebnis bzgl. grundsätzlicher Einschätzung zur Arbeit mit KI und Digitalilsierungstechnologien.*

In Abbildung 1 lässt sich erkennen, dass die meisten befragten Mitarbeitenden der beiden Unternehmen die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine/Software nicht als Herausforderung ansehen. 18% der Beschäftigten haben Bedenken davor, dass der eigene Aufgabenbereich durch KI übernommen werden kann und stimmen der zugehörigen Frage eher oder voll zu. Über 50% stimmen allerdings den Aussagen, dass die Mitarbeitenden nicht ausreichend Informationen darüber erhalten, wie der eigene Arbeitgeber KI und Digitalisierungstechnologien einsetzen will und welche Ziele dieser damit verfolgt.

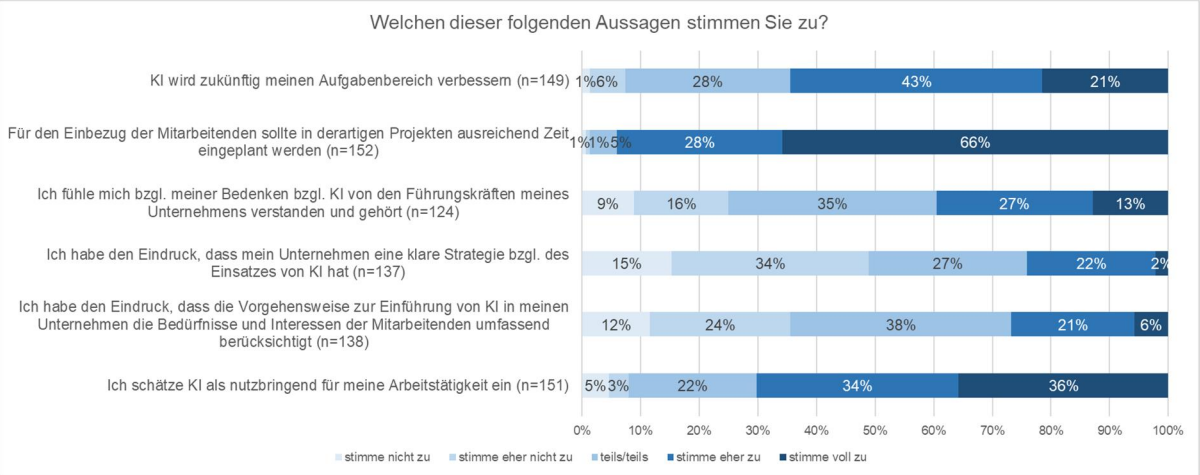


Abbildung 2: *Befragungsergebnis bzgl. Einbezug der Mitarbeitenden.*

Aus Abbildung 2 lässt sich ablesen, dass KI sowohl als nutzbringend für die eigene Tätigkeit (70% Zustimmung) eingeschätzt sowie eine Verbesserung des eigenen Aufgabenbereichs erwartet wird (64% Zustimmung). Für den Einbezug der Mitarbeitenden in Projekte rund um KI und deren Einführung soll aber ausreichend Zeit eingeplant werden, zeigt die Zustimmung von 94%. Bei der Frage danach, ob sich die Mitarbeitenden bzgl. ihrer Bedenken von den Führungskräften ausreichend gehört und verstanden fühlen lässt sich eine um 17% höhere Zustimmung bei dem zweiten Unternehmen erkennen. Eine viel höhere Zustimmung, um 38% höher als bei dem ersten Unternehmen, geben die Mitarbeitenden des zweiten Unternehmens bei der Aussage ab, dass sie den Eindruck haben, ihre Bedürfnisse und Interessen werden bei der Einführung von KI im Unternehmen berücksichtigt und um 26% höher bei der Aussage, dass das eigene Unternehmen eine klare Strategie bzgl. des Einsatzes von KI hat.

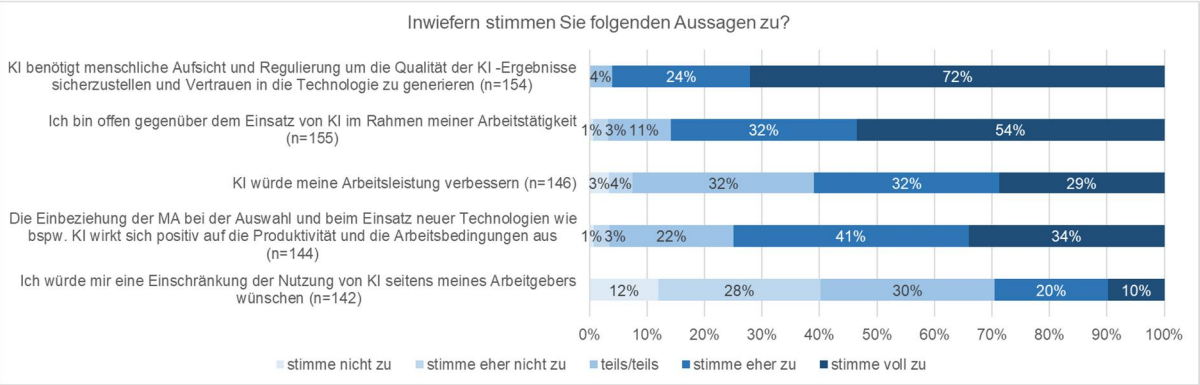


Abbildung 3: *Befragungsergebnis bzgl. der Einschätzung zu KI.*

Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke. Abbildung 3 zeigt auf, dass die Mitarbeitenden der beiden Unternehmen eine menschliche Aufsicht und Regulierung von KI als notwendig ansehen (96% Zustimmung) und bei der Auswahl neuer Technologien einbezogen werden möchten, um einen positiven Effekt auf die Produktivität und die Arbeitsbedingungen zu erzielen (75% Zustimmung). Die Zustimmung (30%) und Ablehnung (40%) einer Einschränkung der Nutzung von KI, vonseiten des Arbeitgebers, ist dagegen sehr ausgeglichen. Gegenüber dem Einsatz von KI im Rahmen ihrer Arbeitstätigkeit zeigen sich die Mitarbeitenden mit 86% Zustimmung offen und stimmen zu 61% zu, dass sich durch KI ihre eigene Arbeitsleistung verbessern lässt.

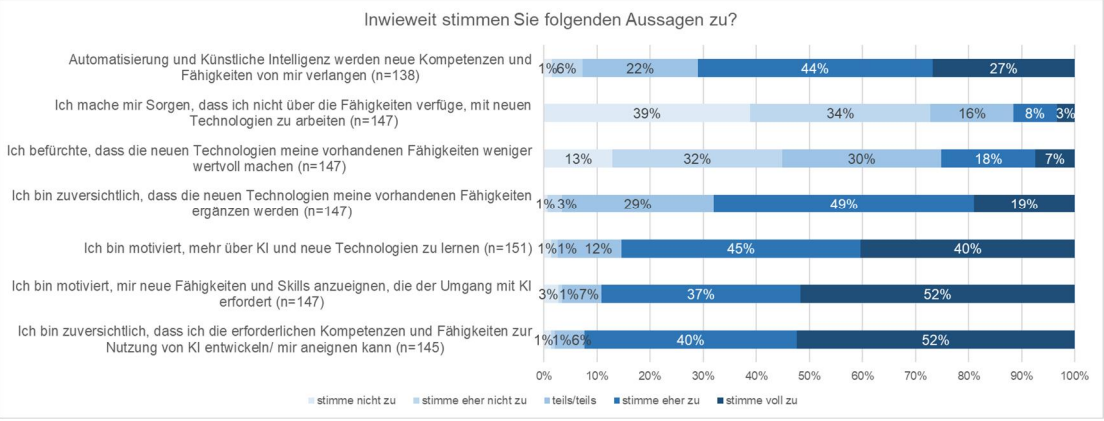


Abbildung 4: *Befragungsergebnis bzgl. der Kompetenzen und Fähigkeiten von Mitarbeitenden.*

Viele der Befragten erwarten, dass durch den Einsatz von KI neue Kompetenzen und Fähigkeiten notwendig werden, was eine Zustimmung von 71% zeigt (vgl. Abbildung 4). Jedoch machen sich die Mitarbeitenden wenig Sorgen darüber, dass sie nicht über die notwendigen Kompetenzen und Fähigkeiten verfügen, um mit den neuen Technologien zu arbeiten, da hier nur 11% zustimmen. Ebenso wenig befürchten sie, dass durch die neuen Technologien ihre vorhandenen Fähigkeiten und Kompetenzen entwertet werden (25% Zustimmung gegenüber 45% die nicht zustimmen). Die Mitarbeitenden beider Unternehmen sind motiviert neue, benötigte Fähigkeiten und Kompetenzen zu erlernen (92% Zustimmung) sowie zuversichtlich, dass die neuen Technologien ihre vorhandenen Fähigkeiten ergänzen werden (68% Zustimmung).

Die Analyse der personenbezogenen Angaben zeigt, dass die jüngeren Mitarbeitenden etwas weniger Bedenken vor dem Einsatz von KI haben. Die Mitarbeitenden mit Führungsverantwortung fühlten sich bzgl. der KI-Strategie im Unternehmen bereits gut informiert.

5. Diskussion

Die Ergebnisse bei beiden Unternehmen in Bezug auf die Bedenken und Wünsche der Mitarbeitenden bzgl. der KI-Einführung sind nahezu identisch. Lediglich bei dem Eindruck, Bedürfnisse und Interessen würden bei der Einführung von KI berücksichtigt, lässt sich ein größerer Unterschied feststellen. Dieser geht aber zum Teil darauf zurück, dass im zweiten Unternehmen mehr Personen mit Führungsverantwortung bei der Befragung vertreten waren, welche hier stärker zur Zustimmung tendiert haben.

Über beide Unternehmen betrachtet lässt sich feststellen, dass die Bedenken vor einer KI-Einführung oder dem Umgang mit dieser gering ausfallen. KI wird hier als Unterstützungsmöglichkeit wahrgenommen, welche die Produktivität steigern kann und die eigene Arbeitsleistung verbessern wird. Die Motivation sich selbst mit den KI-Technologien auseinanderzusetzen und dadurch neue Fähigkeiten und Kompetenzen zu erwerben ist hoch unter den Mitarbeitenden.

Jedoch zeigt sich auch deutlich, dass eine gut gelingende Einführung von KI im Unternehmen, aus Sicht der Mitarbeitenden, nur dann erfolgreich verlaufen kann, wenn die Mitarbeitenden bei der Einführung mit einbezogen werden und über genug Informationen zur Vorgehensweise des Unternehmens verfügen. Insbesondere bei der Informationsweitergabe lassen sich durch die Befragung Defizite erkennen. Die Mitarbeitenden fühlen sich nicht vollständig informiert und die Ziele, welche das eigene Unternehmen mit der Einführung von KI verfolgt, sind nicht ausreichend ersichtlich.

Der eingesetzte Fragebogen erfüllt bislang noch nicht die Kriterien eines etablierten Befragungsinstruments. Es wurden lediglich wenige personenbezogene Fragen verwendet und auf Wunsch der Unternehmen wurde der Fragebogen jeweils angepasst. Dadurch weichen die Fragen, der beiden Unternehmen an mancher Stelle voneinander ab, auch wenn die Kernaussage der Frage gleichbleibt. Detaillierte Analysen von Verteilungen, Skalenreliabilitäten u.ä. stehen noch aus, sobald mehr empirische Daten vorliegen. Gleichwohl bieten die Ergebnisse vielfältige Ansatzpunkte für konkrete Verbesserungsmaßnahmen in den Unternehmen.

6. Fazit und Ausblick

Die Befragung der beiden Unternehmen zeigt auf, dass die Mitarbeitenden nur geringe Bedenken ggü. KI mitbringen und eine große Bereitschaft aufweisen, mit dieser zu arbeiten. Jedoch werden frühzeitige Einbindung die Partizipationsmöglichkeiten im Prozess der KI-Einführung als wichtig angesehen und mangelnde Informationen zur KI-Strategie zurückgemeldet. Letztlich handelt es sich bei den Ergebnissen lediglich um ein Stimmungsbild aus zwei Unternehmen mit insgesamt ca. 150 Befragten. Um die Repräsentativität der Ergebnisse zu erhöhen, sind Befragungen in weiteren Unternehmen notwendig. In den beiden Unternehmen wurden nach einer Ergebnispräsentation in einem Workshop partizipativ die nächsten Schritte zur erfolgreichen digitalen Transformation und Reduzierung der Bedenken festgelegt. Die Unternehmen können auf diese Weise Bedenken dazu nutzen Schwachstellen in der KI-Lösung bzgl. Funktionalität, Einführungsprozesse, Nutzungsszenarien und Usability zu identifizieren und zu beheben und KI erfolgreicher einzusetzen.

7. Literatur

Büchel J., Monsef R (2024) Künstliche Intelligenz: Bessere Entlohnung durch Produktivitätsbooster? IW-Trends - Vierteljahresschrift zur empirischen Wirtschaftsforschung, Institut der deutschen Wirtschaft (IW), Köln, Vol. 51, Iss. 2, pp. 45-63, https://doi.org/10.2373/1864-810X.24-02-03.

Heinen N, Heuer A, Schautschick P (2017) Künstliche Intelligenz und der Faktor Arbeit. In: Wirtschaftsdienst 97, S. 714–720,2017. https://doi.org/10.1007/s10273-017-2203-5.

Huchler N et al. (Hrsg.) (2020) Kriterien für die menschengerechte Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion bei Lernenden Systemen – Whitepaper aus der Plattform Lernende Systeme, München.

IUBH, Internationale Hochschule (2020) Artificial Intelligence: Die Zukunft künstlicher Intelligenz in deutschen Unternehmen. https://res.cloudinary.com/iubh/image/upload/v1614091869/Presse%20und%20Forschung/Studien/202010%20AI-Studie%20Whitepaper/202010_AI-Studie_Whitepaper_ea2y3c.pdf.

Lane M, Williams M, Broecke S (2023) The impact of AI on the workplace: Main findings from the OECD AI surveys of employers and workers. OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 288. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/ea0a0fe1-en.

Moring A (2021) Erwartungen von Mitarbeitern gegenüber „KI-Jobs“. In: KI im Job, S.123-150. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62829-4_9.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023) AI surveys of employers and workers: Worker questionnaire. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/03/the-impact-of-ai-on-the-workplace-main-findings-from-the-oecd-ai-surveys-of-employers-and-workers_ad686e91/ea0a0fe1-en.pdf.

Peukert M (2025) Ängste und Bedenken gegenüber KI abbauen. In: Peukert, M. (2025). KI-Mindset entwickeln, 71-78. Springer Gabler, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-47902-2_6.

Ruess P, Staffa A, Kreutz A, Busch C, Oswaldo Saba Gayoso C, Pollmann K (2024) Künstliche Intelligenz in betrieblichen Prozessen: Ein Vorgehensmodell zur partizipativen Gestaltung von KI-Anwendungen. HMD 61, S. 485–502. https://doi.org/10.1365/s40702-024-01049-4.

Schaller D, Wohlrabe K, Wolf A (2023) KI, Cloud Computing und Blockchain – wo steht die deutsche Wirtschaft? In: Künstliche Intelligenz: Chance oder Gefahr? Wie verändert der Einsatz von KI unsere Gesellschaft? ifo Schnelldienst, 76(8), S. 3–28. https://hdl.handle.net/10419/279729.

Danksagung: Die Forschung in diesem Beitrag wurde vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) und die Europäische Union über den Europäischen Sozialfonds Plus im Rahmen der Regionalen Zukunftszentren für Künstliche Intelligenz im Projekt ZUKIPRO gefördert.

Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastungen (GB-P) als organisationaler Lernprozess

Maleen HALTER, Alessa BREMS, Nadine PIECK

Institut für interdisziplinäre Arbeitswissenschaft, Leibniz Universität Hannover
Schloßwender Str. 7, D-30159 Hannover

Kurzfassung: Die Studie untersucht im Rahmen des vom Land Niedersachsen und der VW-Stiftung geförderten Projektes „Gefährdungsbeurteilungen psychosozialer Belastung als organisationalen Lernprozess evidenzbasiert gestalten (*Go on'n learn*)" die Umsetzung der Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung (GB-P). Auf der Grundlage einer Literaturrecherche, Expert:inneninterviews und Expert:innenworkshops werden zentrale Hindernisse wie organisationale Konflikte, unzureichende Konzeption bzw. Planung und Umsetzung des Gesamtprozesses und fehlende strategische Verankerung identifiziert. Die ermittelten Erfolgsfaktoren sind eine angemessene Vorbereitungsphase, die insbesondere Führung einbindet, klare Kommunikation und Partizipation, strukturelle Einbettung, eine prozessorientierte Methodik sowie praxistaugliche Instrumente für Wirksamkeitskontrolle und Fortschreibung. Konzeptionell werden die Anforderungen an die Gestaltung der GB-P als organisationalen Lernprozess herausgearbeitet, um eine nachhaltige und wirksame Umsetzung der GB-P als Beitrag zur menschengerechte Arbeitsgestaltung zu ermöglichen.

Schlüsselwörter: Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung (GB-P), Organisationale Lernprozesse, Umsetzungsbarrieren, Erfolgsfaktoren

1. Hintergrund und Herausforderungen im Verlauf der GB-P

Die fortlaufenden Veränderungen der Arbeitswelt gehen mit steigenden psychischen Belastungen von Beschäftigten einher und können langfristig gesundheitliche Beeinträchtigungen verursachen (Lohmann-Haislah, 2019). Unternehmen sind in Deutschland verpflichtet, psychische Gefährdungen systematisch im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung (GB-P) zu erfassen (Beck, 2019). Orientierung für die Umsetzung bietet der von der Gemeinsamen Deutschen Arbeitsschutzstrategie (GDA) beschriebene GB-P-Prozess, der sieben Phasen umfasst und auf die Vermeidung bzw. Reduktion psychischer Belastungen abzielt (Beck et al., 2022). In der betrieblichen Praxis variiert die Umsetzung jedoch stark hinsichtlich Gestaltung, Zielrichtung und Tiefe (Leka et al., 2010; Iavicoli et al., 2011). In vielen Betrieben beschränkt sich die GB-P auf die Erhebung psychischer Belastungen, während die Ableitung, Umsetzung, Verstetigung und Evaluation von Maßnahmen unvollständig bleibt oder deutlich seltener erfolgt (Beck, 2019; Beck et al., 2012; Bamberg & Mohr, 2016; Gilbert et al., 2020; Pavlista et al., 2022; Sommer et al., 2018). Der vollständige Durchlauf aller Prozessphasen wird damit in der Praxis häufig nicht erreicht (Beck, 2019; Pavlista et al., 2022). Der wissenschaftliche Diskurs zur GB-P ist bislang ebenfalls stark auf Methoden der Erhebung und Bewertung psychischer Belastungen und der Entwicklung validierter

Erhebungsinstrumente fokussiert, während die Anforderungen und Bedarfe der betrieblichen Praxis häufig unzureichend berücksichtigt werden. Dies hängt nach Einschätzung der Autorinnen auch damit zusammen, dass bisher die Lern- und Entwicklungsbedingungen von Organisationen in der Gestaltung der GB-P wenig Berücksichtigung finden und kaum Forschung bzw. Handlungsleitfäden dazu vorliegen.

2. Forschungsfrage

Ziel dieser Studie[18] ist es, die GB-P als organisationalen Veränderungs- und Lernprozess zu konzipieren und durch praxisnahe Heuristiken und Methoden entlang des gesamten Prozessverlaufs zu unterstützen. Vor diesem Hintergrund adressiert die Studie die Frage, *welche Herausforderungen bewältigt werden müssen, um eine Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung erfolgreich und wirksam umzusetzen.* Der Fokus liegt auf organisationalen, prozessualen und kommunikativen Bedingungen sowie auf der methodischen Gestaltung des Prozesses.

3. Methodisches Vorgehen

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde ein qualitatives Studiendesign gewählt (Tracy, 2010). Dieses umfasst eine systematische Literaturrecherche (Snyder, 2019) sowie leitfadengestützte Einzelinterviews (Gioia et al., 2013) und Workshops mit unterschiedlichen Expert:innen aus der betrieblichen Praxis. Qualitative Ansätze eignen sich insbesondere zur Analyse komplexer, prozessualer Umsetzungsphänomene und zur Erfassung unterschiedlicher Akteursperspektiven (Tracy, 2010). Befragt wurden unter anderem externe Berater:innen, interne Arbeitsschutzakteur:innen sowie Koordinator:innen des Betrieblichen Gesundheitsmanagements. Die Kombination aus Interviews und Workshops ermöglichte sowohl eine vertiefte Erfassung individueller Erfahrungen als auch eine gemeinsame Reflexion organisationaler Umsetzungsprozesse und trug damit zu einer methodischen Triangulation bei (Flick, 2018).

4. Ergebnisse

4.1 Literaturrecherche

Die Auswertung der Literatur zeigt, dass im Verlauf der Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung insbesondere an den Schnittstellen zwischen den einzelnen Prozessphasen erhebliche Herausforderungen auftreten (Beck, 2019; Schuller, 2018). Bereits in der Vorbereitungsphase liegt der Fokus häufig stark auf der Erhebung und Bewertung psychischer Belastungen, während die Planung nachgelagerter Prozessschritte – insbesondere Maßnahmenentwicklung, Wirksamkeitskontrolle und Fortschreibung – vergleichsweise wenig Beachtung findet (Gilbert et al., 2020).

In der Folge kommt es im weiteren Prozessverlauf vermehrt zu Abbrüchen,

[18] Die Studie wird im Rahmen des Projektes *Go on'n learn* durchgeführt. Das Projekt wird gemeinsam mit der Jade Hochschule Oldenburg umgesetzt und vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur sowie der Volkswagen Stiftung gefördert.

insbesondere nach der Erhebungs- und Bewertungsphase (Langhoff & Satzer, 2010; Pavlista et al., 2022). Als besonders defizitär werden in der Literatur die Verknüpfung von Gefährdungsbeurteilung, Maßnahmenentwicklung und Wirksamkeitskontrolle beschrieben (Nielsen & Randall, 2013; Diebig et al., 2018). Fehlende Ressourcen, unklare Zuständigkeiten sowie mangelnde Abstimmung zwischen beteiligten Akteur:innen begünstigen diese Abbrüche zusätzlich (Leka & Cox, 2010). Als besonders relevant werden Macht- und Interessenkonflikte als Ursache für die fehlende vollständige Umsetzung der GB-P benannt (Wulf et al., 2017). Häufig beschränkt sich die Beteiligung der Beschäftigten auf die Erhebung psychischer Belastungen, während vertiefende Aushandlungs- und Entwicklungsprozesse nicht systematisch etabliert sind (Beck, 2019; Gilbert et al., 2020; Pavlista et al., 2022).

Insgesamt wird die GB-P in vielen Organisationen als fragmentierter Prozess mit begrenzter nachhaltiger Wirkung beschrieben, da Lern- und Entwicklungsprozesse über den gesamten Verlauf hinweg nicht systematisch gestaltet werden (Beck, 2019; Nielsen & Randall, 2013).

4.2 Expert:inneninterviews

Die Ergebnisse der Expert:inneninterviews verdeutlichen, dass die in der Literatur beschriebenen Prozessabbrüche in der betrieblichen Praxis maßgeblich durch organisationale Macht- und Interessenkonflikte, Überforderung zentraler Akteur:innen sowie fehlende vertiefende Analysen zu Wirkungszusammenhängen verstärkt werden.

Aus Sicht der Befragten fehlen häufig partizipative, auf Interessenausgleich ausgerichtete vertiefende Analysen sowie eine gemeinsame Entwicklung von Maßnahmen. Zudem mangelt es an praxistauglichen Verfahren zur Wirksamkeitskontrolle, sodass die GB-P nach der Erhebung psychischer Belastungen oft nicht weitergeführt wird.

Die Interviews machen damit sichtbar, dass bekannte strukturelle Defizite durch organisationale Aushandlungsprozesse und fehlende Prozessbegleitung weiter verschärft werden.

4.3 Expert:innenworkshops

In den Expert:innenworkshops wurden die Ergebnisse der Literaturrecherche und der Interviews reflektiert und durch praxisbezogene Perspektiven ergänzt. Die Expert:innen betonten insbesondere den Bedarf an Methoden, die eine frühe Klärung von Rollen, Verantwortlichkeiten, Ressourcen und Interessen ermöglichen und Aushandlungsprozesse zwischen den beteiligten Akteur:innen systematisch unterstützen. Darüber hinaus wurde der Wunsch nach einer stärkeren methodischen Unterstützung bei der prozessorientierten Planung des gesamten GB-P-Verlaufs geäußert, um Abbrüche zwischen den einzelnen Phasen zu vermeiden.

4.4 Triangulation der Erkenntnisse

Im wissenschaftlichen Diskurs zur GB-P liegt der Schwerpunkt bislang vor allem auf der Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Erhebung und Bewertung psychischer Belastungen. Den damit verbundenen Herausforderungen der prozessualen Gestaltung und Umsetzung in der betrieblichen Praxis wird hingegen vergleichsweise wenig Aufmerksamkeit geschenkt (Paulus, 2018). Diese nicht durch

Instrumentenentwicklung adressierten Herausforderungen sind in Abbildung 1 als blaue Pfeile markiert.

Demgegenüber wurden Methoden zur Gestaltung des GB-P-Prozesses als organisationaler Veränderungsprozess bislang nur begrenzt berücksichtigt. Ebenso finden organisationstheoretische Perspektiven im Arbeitsschutzdiskurs bislang wenig Berücksichtigung in die Weiterentwicklung von Standards der GB-P. Die daraus resultierenden Anforderungen an die Gestaltung des Gesamtprozesses sind in Abbildung 1 durch den orangefarbenen Pfeil visualisiert, wobei insbesondere Aushandlungs- und Lernprozesse im Vordergrund stehen. Als theoretische Bezugspunkte dienen Ansätze, die Gesundheitsförderung im Sinne des Settingansatzes als Lernprozess der Organisation verstehen (Schubert, 2019; Pieck, 2022; Grossmann & Scala, 2011).

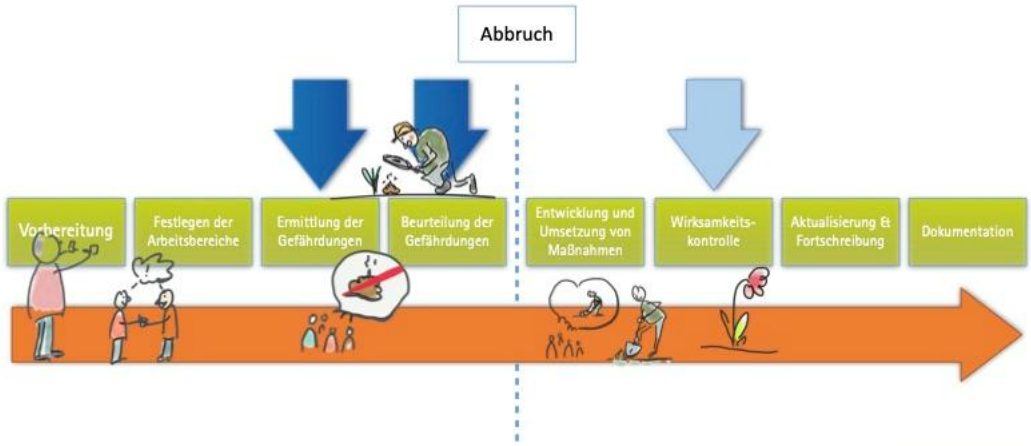


***Abbildung 1**: Prozessverlauf der GB-P, eigene Darstellung.*

Der Vorbereitungsphase kommt dabei besondere Bedeutung zu, da sie die Funktion hat, die betriebspolitischen Voraussetzungen herzustellen, um die GB-P fachlich fundiert als gesamten Prozess planen und realisieren zu können. Dies umfasst die Antizipation der zu bearbeitenden Themen und Beteiligten sowie der damit verbundenen Interessenkonflikte, des dafür notwendigen methodischen Vorgehens und der dafür erforderlichen Ressourcen. Im Prozess geht es neben der Ermittlung der Belastungen und Veränderungsbedarfe vor allem darum, in den unterschiedlichen Phasen immer wieder die verschiedenen Interessen zu einem Ausgleich zu bringen. Dies bedarf kommunikativer Problemlöseprozesse.

Hierfür braucht es geeignete Methoden, die eine frühe Klärung und systematische Bearbeitung von Rollen, Verantwortlichkeiten, Ressourcen, Erwartungen und Interessen ermöglichen. Diese Methoden tragen dazu bei, Vertrauen zwischen den Beteiligten aufzubauen und eine gemeinsame Arbeitsgrundlage zu schaffen. Ebenso notwendig ist eine methodisch gestützte Planung des gesamten Prozesses, insbesondere der vorgesehenen Aushandlungs- und Verständigungsprozesse zwischen den verschiedenen Phasen der GB-P.

Insgesamt setzt eine nachhaltige Umsetzung der GB-P ein prozessorientiertes Verständnis voraus, das durch eine entsprechende Methodik unterstützt wird. Dazu gehören Methoden zur Gestaltung von Dialog- und Aushandlungsräumen über den gesamten Prozessverlauf hinweg, ebenso wie die Arbeit mit Heuristiken, Hypothesen und Perspektivenvielfalt, um organisationales Lernen, gegenseitiges Verständnis und Akzeptanz für Veränderungsprozesse zu fördern (Bindl et al. 2018). Darüber hinaus sind praxistaugliche Verfahren zur systematischen Wirksamkeitskontrolle sowie zur

iterativen Anpassung und Fortschreibung des Prozesses erforderlich, um die Nachhaltigkeit der GB-P sicherzustellen. Eine frühzeitige und kontinuierliche Einbindung von Beschäftigten, Führungskräften sowie Betriebs- bzw. Personalräten ist notwendig, um unterschiedliche Problemwahrnehmungen und Interessen sichtbar zu machen und im Prozess berücksichtigen zu können.

Partizipation erweist sich in diesem Zusammenhang als zentraler Gestaltungsfaktor. Bisher sind die in der GB-P beteiligten Fachkräfte wenig in der Gestaltung partizipativer Prozesse geschult. Zudem werden kaum fachdidaktische Grundlagen vermittelt, die dabei unterstützen, den Lernprozess der Beteiligten zu strukturieren. Durch eine solche partizipative Ausgestaltung kann die GB-P über einzelne Maßnahmen hinaus als kontinuierlicher und wirksamer Lernprozess etabliert werden.

5. Schlussfolgerungen

In der Zusammenschau der Ergebnisse aus Literaturrecherche, Expert:innen-interviews und -workshops zeigt sich, dass die Wirksamkeit der Gefährdungs-beurteilung psychischer Belastung weniger an fehlenden Erhebungsinstrumenten als an der unzureichenden Gestaltung des Gesamtprozesses scheitert. Insbesondere fehlende Aushandlungs- und Lernprozesse zwischen den einzelnen Phasen sowie über den gesamten Prozessverlauf hinweg erweisen sich als zentrale Barriere für eine nachhaltige Umsetzung.

Vor diesem Hintergrund unterstreichen die Ergebnisse die Notwendigkeit, die GB-P konsequent als organisationalen Lern- und Veränderungsprozess zu gestalten, der über die Erhebung und Bewertung psychischer Belastungen hinausgeht. Entscheidend ist eine prozessorientierte Methodik, die Verständigungs-, Reflexions- und Aushandlungsprozesse systematisch unterstützt.

6. Literatur

Bamberg, E., & Mohr, G. (2016) Psychologisches Wissen für die Praxis: Gefährdungsbeurteilungen im Arbeits- und Gesundheitsschutz. Psychologische Rundschau, 67(2):130–134.

Beck, D. (2019) Psychische Belastung als Gegenstand des Arbeitsschutzes: Typische Herausforderungen in der betrieblichen Praxis. Arbeit, 28(2):125–147.

Beck, D., Richter, G., Ertel, M., & Morschhäuser, M. (2012) Gefährdungsbeurteilung bei psychischen Belastungen in Deutschland: Verbreitung, hemmende und fördernde Bedingungen. Prävention und Gesundheitsförderung, 7:115–119.

Beck, D., Taşkan, E., Elskamp, E., Gold, M., Gregersen, S., Klamroth, H., Mields, J., Sandrock, S., Schuller, K., Theorein Anke, Tiedemann, M.-B., Willingstorfer, B., & Wittmann, (2022) Arbeitsschutz in der Praxis. Berücksichtigung psychischer Belastung in der Gefährdungsbeurteilung Empfehlungen zur Umsetzung in der Betrieblichen Praxis. http://gdapsyche.de/fileadmin/gda/Downloads/Broschuere_psychsiche_Belastung_Auflage_4_2024.pdf

Bindl, C., Held, U., & Pieck, N. (2018) Betriebliches Gesundheitsmanagement im Dialog: Lernen in Theorie und Praxis. In H. Johns & G. Vedder (Hrsg.), Organisation von Arbeit und berufsbegleitendem Lernen. Hampp, 185–208.

Diebig, M., Jungmann, F., Müller, A., & Wulf, I. C. (2018) Inhalts- und prozessbezogene Anforderungen an die Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung im Kontext Industrie 4.0: Eine qualitative Interviewstudie. Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, 62(2):53–67.

Flick, U. (2018). Triangulation in qualitative research. The SAGE Handbook of Qualitative Research (5th ed.).

Gemeinsame Deutsche Arbeitsschutzstrategie (GDA). (2014). Leitlinie zur Gefährdungsbeurteilung und Dokumentation. Berlin: BMAS.

Großmann, R., & Scala, K. (2011) Organisationsentwicklung: Organisationsanalyse und Organisationsberatung. Facultas.

Gilbert, K., Kirmse, K. A., Pietrzyk, U., & Steputat-Rätze, A. (2020) Gestaltungshinweise für die praktische Umsetzung der Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 74:89–99.

Gioia, D. A., Corley, K. G., & Hamilton, A. L. (2013). Seeking qualitative rigor in inductive research: Notes on the Gioia methodology. Organizational research methods, 16(1), 15-31.

Iavicoli, S., Natali, E., Deitinger, P., Rondinone, B. M., Ertel, M., Jain, A., & Leka, S. (2011). Occupational health and safety policy and psychosocial risks in Europe: The role of stakeholders' perceptions. Health Policy, 101(1), 87–94.

Leka, S., & Cox, T. (2010) Psychosocial risk management at the workplace level. Safety Science, 48(2), 136–143.

Leka, S., Jain, A., Zwetsloot, G. I. J. M., & Cox, T. (2010). Policy-level interventions and work-related psychosocial risk management in the European Union. Work & Stress, 24(3), 298–307.

Lohmann-Haislah, A. (2019) Stand und Entwicklung der Schlüsselfaktoren 2006, 2012, 2018. In Stressreport Deutschland 2019 - Psychische Anforderungen, Ressourcen und Befinden. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.), 27–39.

Nielsen, K., & Randall, R. (2013). Opening the black box: Presenting a model for evaluating organizational-level interventions. European Journal of Work and Organizational Psychology, 22(5), 601–617.

Paulus, S. (2018) Gefährdungsbeurteilungen von psychosozialen Risiken in der Arbeitswelt: Zum Stand der Forschung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 73:141–152.

Pavlista, V., Angerer, P., Kuske, J., Schwens, C., & Diebig, M. (2022). Exploring the Barriers to the Implementation of Psychosocial Risk Assessment in Micro- and Small-Sized Firms. Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie A&O, 66(4), 170–183.

Pieck, N. (2022). Betriebliche Gesundheitsförderung als organisationaler Lernprozess. In: Hajji, R., Kitze, K., Pieck, N. (eds) Gesundheitsfördernde Organisationsentwicklung. Springer, Wiesbaden.

Schuller, K. (2018) Methodische Herausforderungen für die Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung in KMU. ASU Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin, 53: 790–797.

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. Journal of Business Research, 104, 333–339.

Sommer, S., Kerschek, R., & Lenhardt, U. (2018) Gefährdungsbeurteilung in der betrieblichen Praxis: Ergebnisse der GDA-Betriebsbefragungen 2011 und 2015.

Tracy, S. J. (2010). Qualitative quality: Eight "big-tent" criteria for excellent qualitative research. Qualitative Inquiry, 16(10), 837–851.

Wulf, I. C., Süß, S., & Diebig, M. (2017) Akteure der Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung – Perspektiven und Konflikte im betrieblichen Arbeits- und Gesundheitsschutz. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 71:296–304.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt unseren Interviewpartner:innen sowie unseren Expert:innen, die an den Workshops teilgenommen haben. Das Projekt wird mit Mitteln aus zukunft.niedersachsen gefördert, ein Förderprogramm des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur und der Volkswagen Stiftung.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Herausforderungen in der Risikoquantifizierung psychischer Arbeitsbelastung

Yannick METZLER[1], Kirsten HOLLSTEIN[2], Fabian FRITSCH[2], Oliver STRÄTER[2]

[1] Leibniz-Institut für Arbeitsforschung, TU Dortmund
Ardeystr. 67, D-44139 Dortmund
[2] Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel
Heinrich-Plett-Str. 40, 34132 Kassel

Kurzfassung: Die Risikobewertung arbeitsbedingter Gefährdungen stützt sich traditionell auf quantitative Grenzwertkonzepte, die vor allem für chemische und physikalische Noxen entwickelt wurden und eine objektive Risikoquantifizierung sowie die Ableitung von Schutzwerten ermöglichen. Die Übertragbarkeit dieser Ansätze auf psychische Belastung wird zunehmend diskutiert, wobei eine systematische Übersicht über etablierte Konzepte sowie deren Anwendbarkeit auf psychische Belastung bislang fehlt. Die begriffliche Unterscheidung ist dabei essentiell: Schwellenwerte beschreiben z. B. Konzepte ohne adverse Effekte, während Arbeitsplatzgrenzwerte rechtlich-normative Werte darstellen, die neben wissenschaftlichen Erkenntnissen auch technische Machbarkeit berücksichtigen. Der vorliegende Beitrag gibt eine systematische Übersicht über etablierte Grenzwertkonzepte, prüft kritisch deren Anwendbarkeit auf psychische Belastung und leitet methodische Anforderungen für adaptierte präventive Ansätze ab.

Schlüsselwörter: Gefährdungsbeurteilung, psychische Arbeitsbelastung, Arbeitsschutzgesetz, Risikoquantifizierung

1. Einleitung

Im Arbeitsschutzgesetz sind Gefährdungen durch psychische Belastungen bei der Arbeit explizit aufgeführt (Arbeitsschutzgesetz [ArbSchG], § 5 Abs. 3). Dennoch werden psychische Belastungen im Rahmen der allgemeinen Gefährdungsbeurteilung oftmals unzureichend betrachtet (Beck & Lenhardt 2019; Hollstein et al. 2025). Gleichzeitig zeigen Krankenkassenberichte die erhebliche Bedeutung psychischer Belastung hinsichtlich Arbeitsunfähigkeitsfällen und volkswirtschaftlicher Kosten (DAK-Gesundheit 2023). Ein zentrales Problem ist die Ableitung konkreter Maßnahmen aus gemessenen Belastungswerten. Es fehlt an Klarheit, welche Handlungen aus einer bestimmten Belastungshöhe folgen sollten. Die Risikobewertung arbeitsbedingter Gefährdungen stützt sich traditionell auf quantitative Grenzwertkonzepte wie NOAEL, LOAEL oder Benchmark Dose, die für chemische und physikalische Noxen entwickelt wurden (ECHA 2012; WHO 2009). Die Frage nach der Übertragbarkeit dieser toxikologisch geprägten Konzepte auf psychische Belastung gewinnt zunehmend an Relevanz (Nielsen et al. 2017). Eine systematische Übersicht dieser Konzepte inklusive kritischer Prüfung ihrer Anwendbarkeit auf psychische Belastung fehlt bislang.

2. Etablierte Grenzwertkonzepte

Toxikologische Risikobewertungen basieren auf etablierten quantitativen Konzepten, die eine systematische Expositions-Wirkungs-Analyse ermöglichen. Die präzise Unterscheidung zwischen verschiedenen Grenzwertkonzepten ist dafür methodisch essentiell. Der No Observed Adverse Effect Level (NOAEL) bezeichnet die höchste Expositionsdosis ohne beobachtbare adverse Effekte. Der Lowest Observed Adverse Effect Level (LOAEL) markiert die niedrigste Dosis mit erstmals statistisch signifikanten Schädigungen (Dourson & Stara 1983). Beide Konzepte stammen aus Dosis-Wirkungs-Studien. Ein zentrales Problem des NOAEL liegt in seiner Abhängigkeit vom Studiendesign: Stichprobengröße und Dosisabstände beeinflussen den ermittelten Wert maßgeblich (Crump 1984). Die Benchmark Dose (BMD) adressiert diese Limitationen. Sie bezeichnet jene Dosis, bei der eine vorab definierte Erhöhung der Inzidenz (typisch 5-10%) über das Hintergrundniveau auftritt. Die BMD-Methode nutzt die gesamte Dosis-Wirkungs-Kurve und berechnet Konfidenzintervalle. Die untere Konfidenzgrenze (BMDL) dient dabei als konservativer Schätzwert (EFSA 2017). Threshold values (Schwellenwerte) beschreiben Konzepte ohne adverse Effekte unterhalb einer Grenze. Limit values (Grenzwerte) bezeichnen festgelegte Maximalwerte. Occupational Exposure Limits (OEL) bzw. Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) sind rechtlich-normative Werte, die neben toxikologischen Erkenntnissen auch technische Machbarkeit, Messbarkeit und sozioökonomische Aspekte berücksichtigen (Schenk & Johanson 2010). Die Transformation toxikologischer Schwellenwerte in AGW erfolgt durch Unsicherheitsfaktoren (auch Assessment-Faktoren genannt). Diese berücksichtigen verschiedene Quellen der Unsicherheit: Extrapolation von Tierversuchen auf den Menschen (Interspezies-Variabilität), unterschiedliche Empfindlichkeiten innerhalb der menschlichen Population (Intraspezies-Variabilität bzw. Vulnerabilität), Unsicherheiten in der Datenlage sowie die Schwere potenzieller Gesundheitsschäden. Ein typischer Gesamtfaktor von 100 (10 für Interspezies × 10 für Intraspezies-Variabilität) reduziert den NOAEL entsprechend und schafft damit einen Sicherheitsabstand zum beobachteten Schwellenwert (WHO 2005). Vulnerablere Subpopulationen (z.B. Schwangere, chronisch Kranke, genetisch anfällige Personen) sollen durch diesen Sicherheitsfaktor ebenso geschützt werden. AGW sind damit keine rein wissenschaftlichen, sondern normative Werte eines Konsenses über akzeptable Restrisiken. Allen toxikologischen Konzepten liegt das Paradigma der Dosis-Wirkungs-Beziehung zugrunde: Wahrscheinlichkeit und Schwere adverser Effekte steigen mit zunehmender Expositionshöhe und -dauer. Die präzise Expositionsquantifizierung in definierten Einheiten (z.B. mg/m³ über 8h) ermöglicht somit die Erstellung einer quantitativen Risikofunktion.

Neben toxikologischen Konzepten existieren weitere Methoden, die teilweise bereits im Kontext psychischer Belastung Anwendung finden. ROC-Analysen (Receiver Operating Characteristic) visualisieren die diagnostische Güte binärer Klassifikationen. In der Arbeitspsychologie werden sie genutzt, um aus Fragebogenwerten Schwellenwerte abzuleiten, die Personen mit erhöhtem Risiko identifizieren (Bültmann et al. 2006). Dieser Ansatz ist jedoch fundamental diagnostisch: Er setzt bereits erkrankte Personen voraus und entspricht konzeptuell einem LOAEL-Niveau – die Grenze wird dort gezogen, wo Effekte bereits beobachtbar sind, nicht wo sie sicher ausgeschlossen werden können. Die Minimal Clinically Important Difference (MCID) bezeichnet die kleinste klinisch bedeutsame Veränderung eines Messwerts (Jaeschke et al. 1989). Für eine präventive

Grenzwertlogik ist sie nur bedingt geeignet, da sie auf bereits eingetretene Veränderungen und individuelle Bedeutsamkeit fokussiert statt populationsbezogene Risikoschwellen. Fuzzy-Logic-Ansätze modellieren Unsicherheit durch unscharfe Mengen (Marhavilas et al. 2011). Bei psychischer Belastung könnten sie inhärente Unschärfe abbilden, allerdings fehlen validierte Implementierungen und normative Standards. Korrelative Risikoformeln (Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit × Schadensausmaß) werden bei psychischer Belastung durch Multiplikation von Expositionshäufigkeit mit einer Korrelation aus Exposition und Intensität verwendet (Clarke & Cooper 2000). Die so erhaltenen Werte sind dimensionslose Rangwerte, die zur Risikopriorisierung genutzt werden können, jedoch keine Vergleichbarkeit über verschiedene Belastungsfaktoren hinweg erlauben und keine echten Schwellenwerte identifizieren (Metzler et al. 2019).

3. Herausforderungen der Übertragbarkeit auf psychische Belastung

Die Anwendung klassischer Dosis-Wirkungs-Beziehungen auf psychische Belastungsfaktoren wird kontrovers diskutiert. Neuere Veröffentlichungen zeigen, dass psychosoziale und nicht-psychosoziale Gefährdungen vermutlich ähnlichen Herausforderungen bei Kausalität und Dosis-Wirkungs-Beziehungen gegenüberstehen (Pauli et al. 2025). Dennoch existieren spezifische Probleme.

Quantifizierung der Exposition: Im Gegensatz zu Luftkonzentrationen chemischer Stoffe fehlt bei psychischen Belastungsfaktoren eine objektive, physikalisch messbare Expositionseinheit. Selbstberichtete Belastungsmessungen erfassen subjektive Bewertungen, die durch individuelle Bewältigungsressourcen, Persönlichkeit und Befindlichkeit moderiert werden (Semmer et al. 2010). Während "Anzahl Unterbrechungen pro Stunde" objektiv zählbar wäre, ist unklar, ob dies die relevante "Dosis" darstellt oder ob erlebte Kontrollierbarkeit entscheidend ist. Die fehlende Dosismetrik erschwert quantitative Expositions-Wirkungs-Funktionen.

Zeitliche Latenz: Psychische Beeinträchtigungen entwickeln sich über längere Zeiträume. Die Latenz zwischen Exposition und Gesundheitsschaden kann Monate bis Jahre betragen (de Lange et al. 2003). Belastungswirkungen akkumulieren nicht linear: Kurze intensive Phasen können durch Erholung kompensiert werden, während chronische moderate Belastung ohne Regeneration langfristig schädlicher sein kann (Sonnentag & Fritz 2015). Diese zeitliche Komplexität steht im Kontrast zur relativ stabilen Dosis-Wirkungs-Beziehung vieler Chemikalien.

Individuelle Vulnerabilität: Bei psychischer Belastung ist die Spannbreite individueller Reaktionen deutlich größer als bei chemischen Noxen. Identische Arbeitsbedingungen können je nach Copingstrategien, sozialer Unterstützung und Selbstwirksamkeit zu sehr unterschiedlichen Beanspruchungen führen (Bakker & Demerouti 2007). Ein populationsbezogener Schwellenwert "für alle Beschäftigten" erscheint vor diesem Hintergrund fragwürdig.

Outcome-Kriterien: Bei psychischer Belastung dominieren mental health outcomes wie Depression oder Burnout (Bonde 2008). Fraglich ist jedoch, ob erst manifeste psychische Erkrankungen als advers gelten sollten oder bereits subklinische Beeinträchtigungen wie reduzierte Arbeitszufriedenheit oder erhöhte Fehlerraten. Die Festlegung adverser Effekte ist damit nicht nur empirisch, sondern auch normativ zu beantworten.

4. Messung der psychischen Arbeitsbelastung mit MABO: Potenziale für Grenzwertableitung

Die vorangegangene Analyse zeigt: Für die Entwicklung von Grenzwertkonzepten ist eine präzise, standardisierte Erfassung psychischer Belastung erforderlich. Die Verfahrenslandschaft zur Messung psychischer Belastung ist hinsichtlich Messeigenschaften jedoch sehr heterogen. Einige Verfahren zielen auf niederschwelligen Zugang mit dichotomen Antwortmustern ab, z.B. die Prüfliste Psychische Belastung der Unfallversicherung Bund und Bahn. Für quantitative Risikoabschätzungen sind jedoch Verfahren erforderlich, die die Anforderungen nach DIN EN ISO 10075-3 einhalten und eine Messempfindlichkeit von ≥ 5 Antwortstufen aufweisen. Das in Kassel entwickelte Verfahren MABO (Modulare Analyse der Belastungsfaktoren in Organisationen) erfüllt diese messtheoretischen Anforderungen und bietet mit Normdaten von über 6.000 Personen aus unterschiedlichsten Branchen eine fundierte Datengrundlage (Sträter et al. 2022). Der MABO beinhaltet Selbstaussagen, die auf einer 6-stufigen Likert-Skala bewertet werden. Bspw. zur Messung der Vollständigkeit von Arbeitsaufgaben: Bei meiner Arbeit erstelle ich ein vollständiges Produkt oder eine vollständige Dienstleistung. Die Antwortskala reicht von „trifft gar nicht zu“ bis „trifft völlig zu“ und ist durch Vermeidung einer weder/noch-Option als Forced-Choice ausgelegt. Tabelle 1 gibt einen Überblick zum MABO. Während die Belastungsseite die Grundlage betrieblicher Messung bildet, kommen spezifische und optionale Module abhängig von spezifischen Eigenschaften von Organisationen in Frage, bspw. der Branche. Diese umfangreiche Datenbank könnte grundsätzlich eine empirische Basis für die Identifikation statistischer Schwellenwerte darstellen – etwa durch Analyse, ab welchen Belastungswerten die Prävalenz negativer Beanspruchungsfolgen signifikant ansteigt.

Tabelle 1: *Überblick über die Struktur und Inhalte des MABO.*

Ebene	Kategorie (Auszug)	Inhalt (Auszug)
Basismodule (Belastung)	Arbeitsaufgabe	Ganzheitlichkeit, Handlungsspielraum, Vielseitigkeit
	Kooperation & Kommunikation	Informationsfluss, Zusammenarbeit, Umgang mit Konflikten
	Arbeitsorganisation	Arbeitsabläufe, Work-Life Balance
Spezifische Module (Belastung)	Mobiles Arbeiten	Entgrenzung und Flexibilisierung
	Digitalisierung	Gebrauchstauglichkeit
	Sicherheitskultur	Sicherheitsverhalten, Verantwortung
Optionale Module (Beanspruchung)	Kurzfristig negative Beanspruchung	Monotonie, Ermüdung
	Langfristig negative Beanspruchung	Burnout-Symptome
	Positive Beanspruchung	Identifikation, Zufriedenheit

5. Diskussion

Die systematische Übersicht zeigt fundamentale methodische Herausforderungen, aber auch potenzielle Ansatzpunkte für adaptierte Konzepte.

Grenzen direkter Übertragbarkeit: Die direkte Übertragung von z.B. NOAEL/LOAEL-Konzepten auf psychische Belastung erscheint aufgrund fundamentaler Unterschiede in Expositionscharakteristik, individueller Vulnerabilität und zeitlicher Latenz zumindest bislang problematisch. Die begriffliche Differenzierung zwischen threshold values, limit values und OEL verdeutlicht, dass bereits konzeptuell ungeklärt ist, ob psychophysiologische Schwellenwerte für psychische Belastung überhaupt existieren und wie daraus praktikable Grenzwerte abzuleiten wären.

Diagnostische versus präventive Ansätze: ROC-Analysen dienen der Diagnostik bereits eingetretener Beeinträchtigungen und entsprechen konzeptuell dem LOAEL-Niveau. Der Ansatz ist zweifach problematisch: Erstens basiert er auf Daten bereits erkrankter Personen, zweitens ist er reaktiv statt präventiv. Sobald eine psychische Beeinträchtigung messbar wird, ist ein Schaden bereits eingetreten. Für wirksame Primärprävention sind Konzepte erforderlich, die sichere Bereiche ohne Effekte identifizieren – eine Anforderung, die diagnostische Cut-offs nicht erfüllen.

Potenziale adaptierter Ansätze: Trotz dieser Einschränkungen bieten quantitative Ansätze wie BMD konzeptionelle Vorteile. Sie könnten epidemiologische Daten zu Zusammenhängen zwischen Belastungsintensität und Gesundheitsoutcomes systematisch analysieren. Ein möglicher Ansatz wären "Psychosocial Benchmark Levels", die jene Belastungsniveaus identifizieren, oberhalb derer die Prävalenz definierter Gesundheitsbeeinträchtigungen um einen festgelegten Prozentsatz ansteigt. Voraussetzung wären großangelegte prospektive Kohortenstudien mit validierten Belastungsmessungen.

Alternative Outcome-Kriterien: Fraglich ist, ob mental health outcomes die einzigen geeigneten Kriterien sein müssen und sollen. Alternative Kriterien könnten sein: Leistungsindikatoren (Fehlerraten), organisationale Outcomes (Fluktuation, Absentismus), physiologische Biomarker (Cortisol, Herzratenvariabilität) oder subjektive Indikatoren unterhalb klinischer Schwellen. Ein multikriterieller Ansatz würde der Multidimensionalität psychischer Belastungswirkungen besser gerecht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Übertragbarkeit toxikologischer Grenzwertkonzepte auf psychische Arbeitsbelastung bislang deutlich eingeschränkt ist. Der derzeitige Forschungsstand erlaubt keine Etablierung bindender quantitativer Grenzwerte. Sinnvoll erscheint ein gestuftes Vorgehen, begonnen beispielsweise bei der Entwicklung von Orientierungswerten auf Basis epidemiologischer Evidenz, die als "yellow flags " für erhöhten Handlungsbedarf dienen, ohne bereits rechtlich bindende Grenzwerte zu konstituieren. Parallel müssen methodische Grundlagen für präventive Schwellenwertkonzepte geschaffen werden. Die Herausforderung liegt nicht nur in der wissenschaftlichen Fundierung, sondern auch in praktischer Implementierbarkeit und rechtlicher Ausgestaltung. Ein partizipativer Prozess unter Einbeziehung relevanter Stakeholder wird erforderlich sein.

6. Literatur

Bakker AB, Demerouti E (2007). The job demands-resources model: State of the art. Journal of Managerial Psychology, 22(3), 309-328.

Beck D, Lenhardt U (2019). Consideration of psychosocial factors in workplace risk assessments: Findings from a company survey in Germany. International Archives of Occupational and Environmental Health, 92(3), 435-451.

Bonde JP (2008). Psychosocial factors at work and risk of depression: A systematic review of the epidemiological evidence. Occupational and Environmental Medicine, 65(7), 438-445.

Bültmann U, Kant I, Van den Brandt PA, Kasl SV (2006). Psychosocial work characteristics as risk factors for the onset of fatigue and psychological distress: Prospective results from the Maastricht Cohort Study. Psychological Medicine, 32(2), 333-345.

Clarke S, Cooper CL (2000). The risk management of occupational stress. Health, Risk & Society, 2(2), 173-187.

Crump KS (1984). A new method for determining allowable daily intakes. Fundamental and Applied Toxicology, 4(5), 854-871.

DAK-Gesundheit. (2023). Psychreport 2023: Entwicklung der psychischen Erkrankungen im Job. Hamburg.

de Lange AH, Taris TW, Kompier MA, Houtman IL, Bongers PM (2003). "The very best of the millennium": Longitudinal research and the demand-control-(support) model. Journal of Occupational Health Psychology, 8(4), 282-305.

Dourson ML, Stara JF (1983). Regulatory history and experimental support of uncertainty (safety) factors. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 3(3), 224-238.

ECHA (European Chemicals Agency). (2012). Guidance on information requirements and chemical safety assessment. Chapter R.8: Characterisation of dose [concentration]-response for human health. Helsinki.

EFSA (European Food Safety Authority). (2017). Update: Use of the benchmark dose approach in risk assessment. EFSA Journal, 15(1), 4658.

Hollstein K, Sträter O, Kramer F (2025). Betriebliche Hemmnisse der Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastungen. sicherheit ist sicher, 01/2025. Erich Schmidt Verlag. https://doi.org/10.37307/j.2199-7349.2025.01

Jaeschke R, Singer J, Guyatt GH (1989). Measurement of health status: Ascertaining the minimal clinically important difference. Controlled Clinical Trials, 10(4), 407-415.

Marhavilas PK, Koulouriotis D, Gemeni V (2011). Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 24(5), 477-523.

Metzler YA, von Groeling-Müller G, Bellingrath S (2019). Better safe than sorry: Methods for risk assessment of psychosocial hazards. Safety Science, 114, 122-139.

Nielsen K, Nielsen MB, Ogbonnaya C, Känsälä M, Saari E, Isaksson K (2017). Workplace resources to improve both employee well-being and performance: A systematic review and meta-analysis. Work & Stress, 31(2), 101-120.

Pauli R, Lang J, Müller A, Taibi Y, Kraus T, Metzler Y (2025). Requirements for occupational exposure limits in psychosocial risk assessment: What we know, what we don't know and what we can learn from other disciplines. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 51(6), 559-568.Schenk L, Johanson G (2010). Use of uncertainty factors by the SCOEL in their derivation of health-based occupational exposure limits. Critical Reviews in Toxicology, 40(9), 791-798.

Semmer NK, Grebner S, Elfering A (2010). Beyond self-report: Using observational, physiological, and situation-based measures in research on occupational stress. In: PL Perrewé & DC Ganster (Ed.), Research in occupational stress and well being (Vol. 8, pp. 205-263). Emerald Group Publishing.

Sonnentag S, Fritz C (2015). Recovery from job stress: The stressor-detachment model as an integrative framework. Journal of Organizational Behavior, 36(S1), S72-S103.

Sträter O, Keller H, Mütze-Niewöhner S (2022). MABO – Modulare Analyse der Belastungsfaktoren in Organisationen: Verfahren zur Erfassung psychischer Belastungen. Kassel: Kassel University Press.

WHO (World Health Organization). (2005). Chemical-specific adjustment factors for interspecies differences and human variability: Guidance document for use of data in dose/concentration-response assessment. Geneva: WHO.

WHO (World Health Organization). (2009). Principles for modelling dose-response for the risk assessment of chemicals. Environmental Health Criteria 239. Geneva: WHO.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Qualitative Forschung zu Belastungserfahrungen von körperlich und psychisch stark beanspruchten Berufsgruppen

Thomas WIND

Institut für Zielgruppenkommunikation, Bergstr. 29, D-69120 Heidelberg

Kurzfassung: Art und Umfang von Belastungsmerkmalen spezifischer Tätigkeiten können aus quantitativen Erhebungen abgeleitet werden. Darüber hinaus bietet ein qualitativer Zugang über Selbstbeschreibungen der Beschäftigten die Chance, tiefere und lebensnahe Einsichten zu erlangen. Das Institut für Zielgruppenkommunikation hat seit 2020 eine Reihe von qualitativen Studien im Bereich Basisarbeit durchgeführt und dabei auch die Belastungserfahrungen von Beschäftigten in den Bereichen Logistik, Gebäudereinigung, Gastgewerbe, Produktion und Pflege exploriert. Die dabei gewonnenen Befunde werden synoptisch vorgestellt – auch mit Blick auf Möglichkeiten der Integration qualitativer Forschung in zukünftig angewandte arbeitswissenschaftliche Verfahren.

Schlüsselwörter: Basisarbeit, Belastungserfahrungen, körperliche und psychische Belastung, Arbeitsschutz, qualitative Forschung, Status-Syndrom

1. Kontext und Methode

Im Koalitionsvertrag zwischen Union und SPD ist unter der Überschrift „Arbeitsschutz“ folgendes Ziel formuliert: „Wir sorgen für gute Arbeitsbedingungen für körperlich stark belastete Berufsgruppen“. Und weiter mit besonderem Fokus auf den KEP-Sektor: „Wir verbessern die Arbeitsbedingungen in der Kurier-, Express- und Paketdienstbranche.“ (Koalitionsvertrag 2025, S. 16)

Um diese politische Willensbekundung realisieren zu können, müssen die entsprechenden Tätigkeiten identifiziert und spezifische Problemlagen präzise beschrieben werden. Dies kann auf Basis standardisierter quantitativer Befragungen erfolgen (u.a. BIBB/BAuA 2018, DGB 2019, Mikrozensus 2020), aber auch über die Selbstbeschreibungen von Beschäftigten im Rahmen qualitativer Forschungsprojekte.

Das Institut für Zielgruppenkommunikation hat seit 2020 eine Reihe von qualitativen Studien im Themenbereich Basisarbeit durchgeführt und mittels Tiefeninterviews und Gruppendiskussionen Beschäftigte ohne besondere Berufsausbildung und Qualifizierung aus den Bereichen Logistik, Gebäudereinigung, Gastgewerbe, Produktion und Pflege detailliert befragt. Die Teilstudien hatten zwar unterschiedliche Fragestellungen. Ein zentraler Forschungsgegenstand war immer die Wahrnehmung der konkreten Arbeitssituation und die spezifischen Belastungserfahrungen bei der Arbeit.

Der vorliegende Übersichtsartikel beruht auf einer Synopse der qualitativen Befunde von 24 Tiefeninterviews und 33 Gruppendiskussionen. Die kursiv gesetzten Textstellen sind „Originalton“ von Basisarbeiterinnen und Basisarbeitern aus Tiefeninterviews bzw. Gruppendiskussionen.

2. Belastungserfahrungen bei Basisarbeit

Qualitativer Forschung geht es um „Fremdverstehen“. Dazu wird der „offene und intensiv-kommunikative Zugang zur sozialen Wirklichkeit“ bestimmter Gruppen gesucht (Lamnek 1989, S. 6). Entsprechend haben wir die Basisarbeiterinnen und Basisarbeiter danach gefragt, wie sie ihre Tätigkeiten, die Situation am Arbeitsplatz und die damit verbundenen Belastungen wahrnehmen, bewerten und verarbeiten.

Die mit Basisarbeit verbundenen Tätigkeiten werden ganz überwiegend manuell ausgeübt und sind von körperlichen Anforderungen geprägt. Dies spiegelt sich in der Beschreibung typischer Arbeitsabläufe, mit denen jeweils eine Reihe von Belastungsfaktoren verbunden wird, die sich in übermäßiger körperlicher Erschöpfung bis hin zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen manifestieren.

„Das ist einfach ein Knochenjob – wir sind die modernen Sklaven.“ (Produktionshelfer, 46)

Es fällt den Befragten schwer, „Körper“ und „Psyche“ auseinanderzudividieren: Sie erleben größtenteils eine Kombination von physischer und psychischer Belastung. So beschreiben die befragten Basisarbeiterinnen und Basisarbeiter häufig ein Syndrom aus körperlicher Belastung, Zeitdruck und „Dauerstress“ durch Arbeitsverdichtung und ungünstige Arbeitszeiten (z. B. Schichtarbeit).

„Du rennst wie eine Bekloppte, damit du das Pensum schaffst ... Irgendwann schaffst du es körperlich nicht mehr und auch nicht mehr von der Psyche her.“ (Pflegehelferin, 43)

Aufgrund der Belastungserfahrungen und der daraus resultierenden gesundheitlichen Beeinträchtigungen bezweifelt ein Großteil der Befragten, dass sie ihre Tätigkeiten bis zum regulären Rentenalter ausüben können. Die Leistungsgrenze sehen die meisten bei maximal 55 Lebensjahren, so dass eine Etappe von mindestens zehn Jahren zu überbrücken ist. Dadurch entsteht für viele ein „schwarzes Loch“. Fehlende Qualifikationen, stark begrenzte Möglichkeiten des Branchenwechsels und unzureichende betriebliche Unterstützung verstärken die Existenzängste und die Sorgen vor Altersarmut.

2.1 Körperliche Belastungserfahrungen

Körperliche Arbeit umfasst Tätigkeiten, die den Einsatz von Kraft, Koordination und Ausdauer erfordern. Es handelt sich um Aktivitäten wie Heben, Tragen, Schieben oder Ziehen schwerer Gegenstände. Dazu gehört auch die Ausführung repetitiver manueller Tätigkeiten wie sie z. B. bei Fließbandarbeit vorkommt. Körperlich herausfordernd sind weiterhin Tätigkeiten, die überwiegend im Stehen und/oder in ungünstigen Körperhaltungen ausgeführt werden.

Mit körperlicher Schwer- und Schwerstarbeit geht aber zumindest mittelfristig eine Überbeanspruchung einher, die zu temporären oder chronischen Beschwerden und Beeinträchtigungen vor allem des Muskel-Skelett-Apparats führen kann.

Körperlich fordernde Tätigkeiten gehen außerdem mit erhöhtem Unfallrisiko einher. Und Arbeiten im Freien setzten Beschäftigte zusätzlich Witterungs- und Umweltbelastungen (Hitze, Kälte, Lärm, Abgase) aus.

2.2 Psychische Belastungserfahrungen

Zur Beschreibung psychischer Belastungserfahrungen verwenden die Befragten oft den Stress-Begriff. Für viele handelt es sich nicht nur um kurzfristiges Stress-Empfinden, sondern um eine Art „Dauer-Stress".

„Da ist den ganzen Tag Stress. Der Zeitdruck, die Pakete auszuliefern, dann die Staus und der Verkehr in der Stadt. Und die Kunden sind fordernd und manchmal aggressiv ... Das alles schlägt aufs Gemüt." (Paketzusteller, 34)

Es wird eine Vielfalt psychischer Belastungserfahrungen genannt. An erster Stelle steht bei vielen der Zeitdruck, der durch eine zunehmende Arbeitsdichte entsteht. Zeitvorgaben werden immer kürzer und Zeitpuffer zwischen einzelnen Arbeitsgängen immer knapper. Der Zeitdruck hat zur Folge, dass Pausen oft nicht oder nicht ausreichend lange wahrgenommen werden. Des Weiteren werden ungünstige Arbeitszeiten, vor allem Wechselschichten und Nacht- und Wochenendarbeit, als psychisch belastend erlebt. Einmal weil sie den Biorhythmus beeinträchtigen, zum anderen, weil sie die Organisation von Familie und Haushalt erschweren.

Die zunehmende Steuerung und Überwachung von (Basis-)Arbeit durch digitale Tools und Systeme wird ambivalent erlebt: zwar hilfreich für die Arbeitsplanung, aber zugleich als Auslöser zusätzlichen Zeitdrucks und als Kontrollinstrumente, die die ohnehin stark begrenzte Autonomie immer weiter einschränken.

Zur psychischen Belastung trägt, sowohl innerbetrieblich als auch gesellschaftlich, die fehlende oder zumindest mangelnde Anerkennung und Wertschätzung bei. Dazu treten das latente Gefühl der Ersetzbarkeit und die Angst vor Arbeitsplatzverlust. Dabei besitzt Arbeitsplatzsicherheit für die Gruppe der Basisarbeiterinnen und Basisarbeiter einen besonders hohen Stellenwert und ist wesentlicher Teil ihres Verständnisses von Normalität.

„Wir Ungelernte werden in Krisenzeiten immer als erste ausgetauscht."

Aus den beschriebenen Belastungserfahrungen resultieren vor allem Erschöpfung, Gereiztheit, Angstzustände, Konzentrationsprobleme bis hin zum Burn-out sowie psychosomatische Beschwerden wie Kopfschmerzen, Tinnitus, Schlafstörungen sowie Nacken- und Rückenschmerzen.

2.3 Kombinationen körperlicher und psychischer Belastungserfahrungen

Die Selbstbeschreibungen der Befragten zeigen deutlich, dass körperliche und psychische Belastung nicht isoliert erlebt werden, sondern sich gegenseitig bedingen und kumulativ auswirken. So treten z. B. das Heben und Tragen schwerer Lasten in der Logistik oder einseitige und belastende Körperhaltungen in der Gebäudereinigung in Kombination mit ständigem Zeitdruck aufgrund unrealistischer Zeitvorgaben auf. Dazu kommen Überstunden, ungünstige Arbeitszeiten und unzureichende Erholungsphasen.

Das weist darauf hin, dass die politische Absichtserklärung im Koalitionsvertrag, die ausschließlich physische Belastung adressiert, zu kurz greift. Um gute Arbeitsbedingungen zu gewährleisten, müssen weitere Aspekte wie psychische Gesundheit, Arbeitszeitregelungen und Arbeitsgestaltung in den Blick genommen werden.

3. Sektorspezifische Belastungserfahrungen

Mit Basisarbeit sind regelmäßig Arbeitsbedingungen verbunden, die körperlich und psychisch belasten. Allerdings unterscheiden sich die Tätigkeiten je nach Branche. So ist die Reinigungskraft anderen Belastungen ausgesetzt wie der Paketzusteller oder die Pflegehelferin. Die Belastungserfahrungen differieren somit je nach Tätigkeitsfeld. Die Unterschiede werden im Folgenden beispielhaft erläutert.

3.1 Logistik, Schwerpunkt KEP

Schwere und schwerste körperliche Belastungen bestimmen die Tätigkeiten in der Logistik. Die Belastungserfahrungen, die die befragten Paketzusteller berichten, beziehen sich einerseits auf die körperlich herausfordernde Arbeit (Bewegen von großen Lasten, wiederholtes Anheben, Tragen, Absetzen oft auch in ungünstigen Körperhaltungen, täglich bis zu 20.000 Schritte schnelles Gehen oder Laufen, Treppensteigen mit Lasten, Witterungs- und Umwelteinflüsse), andererseits aber auch auf die psychische Belastung (Zeitdruck, digitale Kontrolle, Konflikte mit Kunden oder anderen Verkehrsteilnehmern).

„Das ist harte körperbetonte Arbeit. Das geht auf den Rücken und auf die Knie. Manchmal fühle ich mich abends wie querschnittsgelähmt."

Im Rahmen der Novellierung des Postgesetzes 2025 wurde eine Paket-Kennzeichnungspflicht eingeführt, die der Arbeitssicherheit der Zusteller zugute kommen soll. Eine Kennzeichnung nach Gewichtsklassen wird von den befragten Paketzustellern durchaus begrüßt. Allerdings schätzen sie andere Aspekte wie das Gesamtgewicht der täglich zu bewegenden Last oder die Anzahl der Stopps pro Tour als wesentlich relevanter ein. Hier stehen Regulierungsmaßnahmen noch aus.

3.2 Gebäudereinigung

Physische Belastung entsteht primär durch Treppensteigen, weite Wege innerhalb der Objekte, durch gebückte Körperhaltung und die Beanspruchung von Schultern, Armen und Händen beim Einsatz von Reinigungsgeräten wie Staubsaugern, Wischmops oder Fensterreinigern mit Teleskopstange. Diese Tätigkeiten führen häufig zu Knie- und Rückenschmerzen oder Arthrose. Eingesetzte Reinigungsmittel können Hautirritationen oder sogar Verätzungen verursachen. Außerdem werden schädliche Dämpfe eingeatmet.

Als primäre psychische Belastung wird wiederum Zeitdruck genannt. Immer größere Flächen müssen in immer kürzerer Zeit gereinigt werden. Die Zeitvorgaben erscheinen oft unrealistisch und als zu knapp bemessen. Darunter leiden letztlich auch die professionellen Ansprüche der Reinigungskräfte.

„Für ein Hotelzimmer sieben Minuten – da muss die Qualität doch leiden!"

Mit Gebäudereinigung sind häufig Arbeitszeiten verbunden, die von normalen Arbeitszeiten abweichen, was Auswirkungen auf die Gesundheit haben kann. So werden die „unsichtbaren" Reinigungsarbeiten oft zu Randzeiten (früh am Morgen, spät am Abend oder in der Nacht) ausgeführt oder es wird in Split-Schichten (zwei Teilschichten, die über den Tag verteilt sind) gearbeitet. Initiativen zu einer größeren Verbreitung von Tagesreinigung zielen einerseits auf die Anpassung an normale Arbeitszeiten und zugleich auf mehr Sichtbarkeit der Tätigkeit. Letzteres verbunden mit der Hoffnung auf größere Anerkennung. Einige der befragten Reinigungskräfte bezweifeln allerdings,

dass Tagesreinigung zu einer Aufwertung der häufig als „Schmutzarbeit“ stigmatisierten Reinigungsarbeiten führt.

3.3 Gastgewerbe

Mit dem Service in Gaststätten und Restaurants sowie den Arbeiten in Küchen ist zum einen körperliche Belastung verbunden (langes Stehen, Tragen von Lasten, ungünstige Körperhaltungen, Hitze). Hinzu kommt psychische Belastung durch Zeitdruck, der durch unvorhergesehene Kundenströme entstehen kann. Dann ist hohe Flexibilität und Multitasking gefordert. Pausen sind bei hoher Auslastung nur selten einzuhalten.

Zur psychischen Belastung tragen die speziellen Arbeitszeiten bei. Gängig sind Arbeitszeiten am Abend und am Wochenende, die quer zu den Normalarbeitszeiten liegen.

„*Man hat nie frei, wenn die anderen frei haben ... das ist nicht gerade förderlich für das soziale Leben, für die Familie.“*

Vor diesem Hintergrund reflektieren viele in Vollzeit Beschäftigte, wie lange sie eine Tätigkeit im Gastgewerbe ausüben können. Dabei spielt auch eine Rolle, dass Entwicklungsmöglichkeiten kaum gegeben sind.

„Gastronomie ist wie Hochleistungssport. Da betreibt man einfach körperlich und auch psychisch Raubbau ... Ich habe wenig Leute erlebt, die das bis zur Rente machen. Meistens ist der Akku schon vorher leer.“

3.4 Kranken- und Altenpflege

Im Unterschied zu den Befragten in den anderen Sektoren steht bei den Pflegehelferinnen die psychische Belastung durch ständigen Zeitdruck Im Vordergrund. Häufig wird eine akute Belastungssituation geschildert, die durch den Personalmangel und die immer enger werdenden Zeitpläne (Pflegeschlüssel) verursacht sind. Dabei entsteht auch eine Art moralischer Stress: man hat Angst, Fehler zu machen bzw. das Gefühl, den eigenen professionellen Ansprüchen nicht gerecht zu werden. Dies führt bei einigen sogar zu konkreten Überlegungen, den Beruf zu wechseln.

„Alle sind überlastet. Und auf der Strecke bleiben die, um die wir uns eigentlich kümmern sollten.“

Auch in der (stationären) Kranken- und Altenpflege sind Schichtdienste (Wechselschichten, Wochenendarbeit) gängig, welche zu entsprechenden Belastungen führen. Nicht selten sind auch Konflikte mit Patienten bzw. deren Angehörigen zu bewältigen.

Körperliche Belastung entsteht beim Anheben, Mobilisieren oder Umlagern von Patientinnen und Patienten. Dabei werden häufig ungünstige Arbeitshaltungen eingenommen. Manche klagen in diesem Zusammenhang über chronische Rücken-schmerzen, Nacken- und Schulterverspannungen oder Überlastung der Gelenke.

„Ich frage mich, wie lange ich das machen kann. An manchen Tagen ist es extrem anstrengend. Ich habe oft Kopf- und Rückenschmerzen.“

4. Resümee

Körperliche Belastungserfahrungen treten bei Basisarbeit selten isoliert auf, sondern meist kombiniert mit dem Erleben psychischer Belastung, an erster Stelle Zeit-

druck, verursacht durch Arbeitsverdichtung und –intensivierung, ungünstige Arbeitszeiten (z. B. Schichtdienst, Nacht- und Wochenendarbeit) sowie zunehmende (digitale) Kontrolle der Arbeitsleistung. Politische Maßnahmen, die ausschließlich körperliche Belastung adressieren, greifen demnach zu kurz. Die etablierte Gefährdungsbeurteilung von körperlicher Arbeit sollte durch eine um psychische Belastungsmerkmale erweiterte „Gefährdungsbeurteilung 2.0“ flächendeckend ersetzt werden.

In den Tiefeninterviews und Gruppendiskussionen kommt immer wieder die enge Verknüpfung von Arbeits- und Privatsphäre zum Ausdruck. Leistungs- und Zeitdruck am Arbeitsplatz wirken direkt auf die Organisationsnotwendigkeiten von Familienleben und Freizeit. Das Gefühl der Überlastung bei der Arbeit und im Betrieb setzt sich im Privaten fort. Zur Bewältigung des Alltags ist eine strikte Zeitplanung erforderlich. Dies betrifft vor allem Alleinerziehende, in Vollzeit tätige Mütter und Personen, die aus finanziellen Gründen einen Zweitjob ausüben müssen.

Zusätzlich wirkt sich die Einkommenssituation belastend aus. Basisarbeit ist in der Regel im Niedriglohnsektor angesiedelt. Das zwingt zum strengen Haushalten und hat Verzicht zur Folge, nicht nur im Konsumbereich, sondern gerade auch hinsichtlich kultureller und gesellschaftlicher Teilhabe (Wind 2022).

Michael Marmot fasst unter dem Begriff „Status-Syndrom“ den Zusammenhang zwischen sozialem Status von Gruppen und deren gesundheitlichem Zustand sowie ihrer Lebenserwartung (Marmot 2004). Marmots Ansatz wurde in den letzten Jahren in Europa und den USA weitergeführt, präzisiert und empirisch aktualisiert (u.a. Mackenbach 2018). Studien dazu, wie sich das Status-Syndrom konkret bei Basisarbeiterinnen und Basis-arbeitern mit ihren spezifischen Belastungen in Deutschland manifestiert, stehen allerdings noch aus.

Mit Blick auf die hier dargelegten Befunde zu den Belastungserfahrungen von Basisarbeiterinnen und Basisarbeitern wird die Potenz qualitativer Forschung deutlich. Vieles spricht dafür, gerade auch in der Arbeitswissenschaft eine stärkere Integration quantitativer und qualitativer Methoden voranzutreiben, um Synergie-effekte zwischen beiden Forschungskonzepten nutzbar zu machen. Steffen Mau hat das anschaulich beschrieben: „die statistischen (...)Kartierungen aus großer, generalisierender Flughöhe“ werden mit „qualitativen Tiefenbohrungen“ kombiniert (Mau et al 2023, S. 34). Das quantitative Forschungsparadigma mit seinen standardisierten Verfahren und dem objektivierenden Forscherblick von außen wird mit dem qualitativen Ansatz verbunden, der die Betroffenen als Experten ihrer Lebens- und Arbeitssituation versteht und zu Wort kommen lässt.

5. Literatur

BIBB/BAuA (2018) Erwerbstätigenbefragung, www.bibb.de/dienst/publikationen/de/16401
Bourdieu, P et al (2005) Das Elend der Welt. Studienausgabe (2. Auflage), Konstanz
CDU/CSU, SPD (2025) Verantwortung für Deutschland, Koalitionsvertrag 21. Legislaturperiode, unterschrieben am 5.5.2025, www.koalitionsvertrag2025.de
DGB (2019) Sonderauswertung körperlich harte Arbeit zum DGB-Index Gute Arbeit 2018
Lamnek S (1989) Qualitative Sozialforschung, Band 2: Methoden und Techniken, München
Mackenbach J et al (2018) Trends in Health Inequalitites in 27 European Countries. Proceedings of the National Academy of Sciences0
Marmot M (2004) Status Syndrome. How your place on the social gradient directly affects your health. Dublin
Mau S, Lux Th, Westheuser L (2023) Triggerpunkte. Konsens und Konflikt in der Gegenwartsgesellschaft, Berlin
Statistisches Bundesamt (2020) Arbeitskräfteerhebung im Mikrozensus, www.statistischebioliothek.de

Wind Th (2021) Zuhören und versuchen zu verstehen. Forschung an der Basis der Arbeitswelt. In: André Große-Jäger et al (Hrsg.) Basisarbeit – Mittendrin und außen vor. Bonn, S. 368ff.
Wind Th (2022) Und man will nicht ständig jeden Cent umdrehen müssen. Basisarbeit in NRW. In: Friedrich-Ebert-Stiftung (Hrsg.) Weiterdenken. Diskussionspapier des Landesbüros Nordrhein-Westfalen. Ausgabe 2/2022. Düsseldorf
Wind Th (2023) Belastungserfahrungen bei Basisarbeit am Beispiel von Paket- und Lieferdiensten. Beitrag zur Herbstkonferenz 2023 der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.), Sankt Augustin

Gestaltungsanforderungen und Implementierungsstrategien von Virtual-Reality-Schulungen in KMU der Pharmaindustrie

Tim KRANZ, Marikje KAUFMANN

Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel
Heinrich-Plett-Str. 40, D-34132 Kassel

Kurzfassung: VR-basierte Schulungssysteme eröffnen für KMU der pharmazeutischen Industrie neue Möglichkeiten der arbeitsnahen Qualifizierung. Das Projekt *PharmaXR* untersucht Gestaltungsanforderungen und Implementierungsbedingungen solcher Systeme aus arbeits- und organisationspsychologischer Perspektive. Methodisch wurden Experteninterviews und eine standardisierte Mitarbeitendenbefragung durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass Qualifizierung in den untersuchten Betrieben eng mit dem Arbeitsvollzug verknüpft ist und wesentlich auf implizitem Wissen basiert. VR trifft dabei auf überwiegend positive Einstellungen und wird nicht als Ersatz, sondern als Ergänzung bestehender Schulungsformate verstanden. Für die Einführung sind insbesondere die Passung zu realen Arbeitsprozessen und die Einbindung in bestehende Organisationsstrukturen zentral.

Schlüsselwörter: Virtual Reality, Weiterbildung, Menschengerechte Arbeitsgestaltung, Pharmaindustrie, KMU

1. Einleitung

Der Einsatz digitaler Technologien eröffnet produzierenden Unternehmen der pharmazeutischen Industrie neue Möglichkeiten, Qualifizierungsprozesse flexibler, effizienter und zugleich arbeitsnah zu gestalten (Felkl et al. 2024). Insbesondere auf *Virtual Reality* (VR) basierende Lernumgebungen bieten das Potenzial, komplexe Arbeitsprozesse realitätsnah zu vermitteln, ohne den produktiven Betrieb zu unterbrechen (Heinlein et al. 2023). Gerade für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit begrenzten personellen und zeitlichen Ressourcen ermöglichen solche Technologien die Durchführung von Schulungen unabhängig von Ort und laufendem Produktionsbetrieb. Gleichzeitig steigen die regulatorischen Anforderungen an Dokumentation, Nachvollziehbarkeit und Prozesssicherheit, etwa im Kontext der *Good Manufacturing Practice* (GMP), wodurch der Bedarf an neuen, digitalen Schulungs- und Trainingsmethoden weiter zunimmt (European Commission 2022).

Das Forschungsprojekt *PharmaXR* setzt an dieser Schnittstelle von Qualifizierung, Digitalisierung und menschengerechter Arbeitsgestaltung an. Ziel des Projekts ist es, den Einsatz von VR-Technologien für Schulungs- und Lernszenarien in qualitätskritischen Wertschöpfungsprozessen der Pharmaindustrie systematisch zu untersuchen. Im Zentrum stehen dabei virtuelle Trainingsumgebungen, die reale Arbeitsprozesse abbilden. Die Verlagerung ausgewählter Schulungsinhalte in virtuelle Umgebungen erlaubt eine zeitlich entkoppelte Qualifizierung von Mitarbeitenden, ohne in laufende Produktionsprozesse einzugreifen.

Aus Perspektive der Arbeits- und Organisationspsychologie wird die Einführung von VR-basierten Schulungssystemen nicht allein als technische Innovation verstanden,

sondern als soziotechnischer Veränderungsprozess, der die Wechselwirkungen zwischen Mensch, Technik und Organisation berücksichtigt (Sträter 2023). Entsprechend zielt das Projekt darauf ab, potenzielle Auswirkungen auf Akzeptanz, Beanspruchung, Lernprozesse und organisationale Einbettung frühzeitig zu erfassen und die Entwicklung der VR-Schulungsumgebungen arbeitswissenschaftlich zu begleiten (Sträter & Zwingmann 2025).

Ziel ist es, auf Basis erster qualitativer und quantitativer Erhebungen empirische Hinweise zu Gestaltungsanforderungen und Implementationsansätzen für VR-basierte Schulungssysteme in pharmazeutischen KMU zu gewinnen. Die Befragung von Mitarbeitenden zu Interessen, Erwartungen und Anforderungen dient dazu, in einer ersten Projektphase eine VR-Schulungsumgebung zu gestalten, die in bestehende Arbeits- und Lernprozesse integrierbar ist und Akzeptanz fördert.

2. Methodisches Vorgehen

Das methodische Vorgehen erfolgt im Rahmen einer empirischen Bedarfs- und Problemanalyse im Forschungsprojekt *PharmaXR*. Hierzu wurde ein Ansatz gewählt, der leitfadengestützte Experteninterviews mit einer standardisierten Mitarbeitendenbefragung kombiniert. Zur Strukturierung der Befragung wurden Skalen zur interaktionsbezogenen Technikaffinität (Frank et al. 2019), zur Nutzung digitaler Technologien (Kothgassner et al. 2012), zur wahrgenommenen Arbeitsbelastung (Hart & Staveland 1988) sowie zu arbeitsorganisatorischen und gebrauchstauglichkeitsbezogenen Aspekten (Sträter et al. 2022) in Anlehnung an ergonomische Gestaltungsprinzipien (Prümper 1997) eingesetzt.

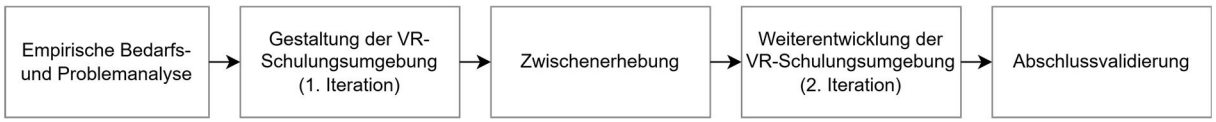


***Abbildung 1**: Projektphasen und iteratives Vorgehen in PharmaXR.*

Die qualitative Datenerhebung erfolgte mittels leitfadengestützter Experteninterviews in zwei pharmazeutischen Unternehmen. Insgesamt wurden sieben Interviews (n = 7) mit Mitarbeitenden aus Produktion, Qualitätssicherung und Schulungsorganisation geführt. Ziel der Interviews war es, praxisnahe Einblicke in bestehende Schulungsprozesse, wahrgenommene Herausforderungen im Umgang mit qualitätskritischen Arbeitsprozessen sowie organisationale und individuelle Voraussetzungen für den Einsatz VR-basierter Schulungsformate zu gewinnen.

Ergänzend wurde eine standardisierte Mitarbeitendenbefragung durchgeführt (n = 8), um zentrale Einschätzungen aus der operativen Perspektive systematisch zu erfassen. Die Befragung adressierte unter anderem individuelle Vorerfahrungen mit digitalen Technologien, arbeitsbezogene Anforderungen und Beanspruchungen sowie Einstellungen gegenüber VR-basierten Schulungen. Sie diente der Einordnung und Verdichtung der qualitativ gewonnenen Befunde und erlaubte eine strukturierte Gegenüberstellung von Mitarbeitenden- und Expertenperspektiven.

3. Empirische Befunde

3.1 Quantitativ

In der Befragung zeigen sich niedrige Ausprägungen in Bezug auf technikbezogene Skepsis (invertiert), mit einem niedrigen arithmetischen Mittel (M) = 2,13 bei einer Standardabweichung (SD) = 1,73. In Bezug auf technikbezogene Vorbehalte (invertiert) zeigen sich ebenfalls niedrige Werte, sowohl für das Vertrauen in technische Geräte (M = 1,38; SD = 0,74) als auch für emotionale Unsicherheit (invertiert) im Umgang mit technischen Geräten (M = 2,13; SD = 1,73. Die drei berichteten Werte beziehen sich auf entsprechend invertierten Fragen.

Hinsichtlich des Interesses an computerbasierten Verfahren weisen die Befragten hohe Ausprägungen auf, mit M = 6,25 (SD = 1,39) für die Neugier gegenüber der Nutzung entsprechender Systeme sowie M = 6,00 (SD = 1,41) für das Bestreben, sich weiterführend mit solchen Verfahren auseinanderzusetzen. Demgegenüber fallen die Angaben zur bisherigen Beschäftigung mit computerbasierten Verfahren differenzierter aus, mit M = 4,63 bei einer SD = 1,92.

Die funktionale Passung des Reinraums wird insgesamt hoch bewertet (M = 6,50; SD = 0,58).

Für die Einschätzung der Anforderungen in der Personalschleuse zeigen sich mittlere Ausprägungen, mit M = 3,00 für den erforderlichen Merkaufwand und die eigenständige Erlernbarkeit (SD = 0,82). Ergänzend wird der wahrgenommene zeitliche Aufwand zum Erlernen der Tätigkeiten mit M = 3,75 (SD = 1,26) angegeben.

Tabelle 1: *Deskriptive Statistik ausgewählter Variablen der quantitativen Erhebung (n = 8) mit 1 = niedrige Ausprägung, 7 = hohe Ausprägung.*

Variable	**M**	**SD**
Technikbezogene Skepsis (invertiert)	2,13	1,73
Vertrauen in technische Geräte (invertiert)	1,38	0,74
Emotionale Unsicherheit im Umgang mit Technik (invertiert)	2,13	1,73
Interesse an computerbasierten Verfahren	6,25	1,39
Lernbereitschaft für computerbasierte Verfahren	6,00	1,41
Bisherige Beschäftigung mit computerbasierten Verfahren	4,63	1,92
Funktionale Passung des Reinraums	6,50	0,58
Merkaufwand Personalschleuse	3,00	0,82
Erlernbarkeit Personalschleuse	3,00	0,82
Zeitlicher Erlernaufwand Personalschleuse	3,75	1,26

3.2 Qualitativ

Qualifizierung erfolgt überwiegend anlassbezogen, etwa im Rahmen von Einarbeitungen, Prozessänderungen oder Audits, und ist eng mit laufenden Produktionsabläufen verknüpft. Schulung wird dabei nicht als separater Prozess verstanden, sondern als kontinuierliche Begleitaufgabe, die „immer parallel zum Tagesgeschäft“ erfolgt. Daraus resultiert ein hoher organisatorischer Abstimmungsbedarf, insbesondere bei begrenzten zeitlichen und personellen Ressourcen.

Die bestehenden Schulungsformate werden von den Befragten als funktional, zugleich jedoch als wenig anschaulich beschrieben. Schriftliche Arbeitsanweisungen gelten als notwendig, reichen aus Sicht mehrerer Interviewpartner jedoch nicht aus, um die praktische Umsetzung sicherzustellen. Lernen findet häufig erst im Kontext der Arbeitsumsetzung statt, da sich viele Anforderungen erst „im Reinraum selbst“ erschließen. Schulung wird damit weniger als punktuelle Wissensvermittlung, sondern als fortlaufender Prozess verstanden.

Ein wiederkehrendes Thema ist die Bedeutung von Detailwissen in qualitätskritischen Abläufen. Gerade scheinbar kleine Handlungsschritte werden als entscheidend für Prozesssicherheit beschrieben und zugleich als schwer explizierbar wahrgenommen. Mehrere Befragte verweisen darauf, dass es „am Ende die Kleinigkeiten“ seien, die über korrektes Arbeiten entscheiden.

Vor diesem Hintergrund zeigen sich die Interviewpartner grundsätzlich offen gegenüber VR-basierten Schulungsformaten. VR wird überwiegend als ergänzende Möglichkeit eingeordnet, um Arbeitsabläufe vor- oder nachbereitend zu vermitteln, ohne reale Produktionsprozesse zu beeinträchtigen. Besonders hervorgehoben wird die Option, Tätigkeiten risikofrei zu üben, etwa „zur Vorbereitung oder zum Auffrischen“.

Gleichzeitig wird deutlich, dass Akzeptanz neuer Schulungsformate nicht als selbstverständlich betrachtet wird. Unsicherheiten beziehen sich weniger auf die Technologie selbst als auf deren praktische Einführung und Einbettung in bestehende Routinen. Entscheidend sei, dass der Nutzen im Arbeitsalltag erkennbar werde und Mitarbeitende „nicht überfordert“ würden.

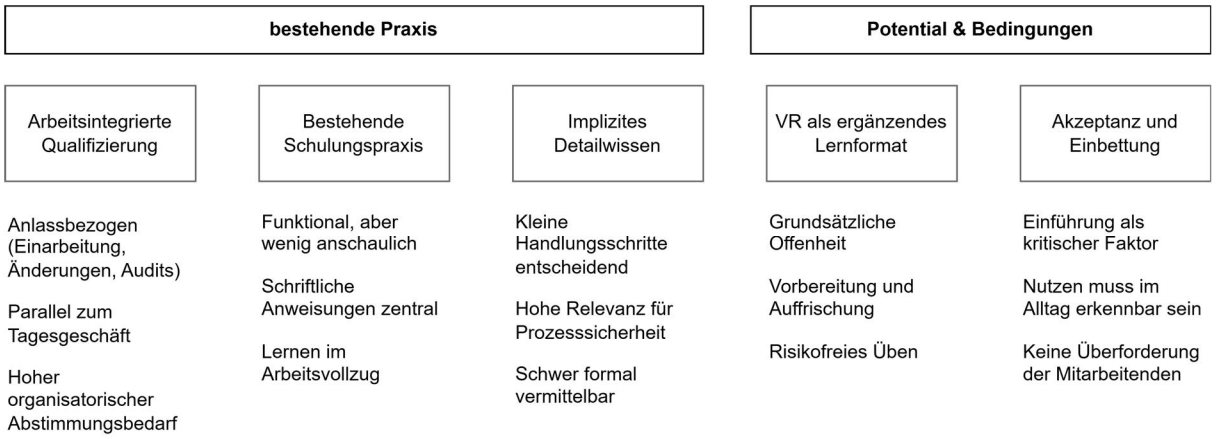


***Abbildung 2**: Zentrale qualitative Befunde zu Schulungspraxis, Wissenstransfer und Akzeptanz.*

4. Gestaltungsanforderungen und Implementierungsstrategien

Auf Ebene der Gestaltung der VR-Schulungsumgebung ergibt sich zunächst die Anforderung einer hohen Prozess- und Arbeitsnähe. Da viele qualitätskritische Anforderungen erst im konkreten Arbeitskontext verständlich werden, müssen VR-Szenarien reale Abläufe, räumliche Strukturen und insbesondere handlungsrelevante Details konsistent abbilden. Die Interviews verdeutlichen, dass gerade scheinbar kleine Handlungsschritte entscheidend für die Prozesssicherheit sind und in bestehenden Schulungsformaten nur unzureichend vermittelt werden. VR bietet hier die Möglichkeit, implizites Erfahrungswissen sichtbar zu machen und in standardisierter Form zugänglich zu machen.

Zugleich weisen die Ergebnisse auf die Notwendigkeit einer kognitiv entlastenden Gestaltung hin. Die mittleren Ausprägungen beim Merk- und Erlernaufwand sprechen für eine klare Sequenzierung von Handlungsschritten sowie für kontextbezogene, zurückhaltende Rückmeldungen innerhalb der VR-Umgebung. Hinweise und Feedback sollten unterstützend wirken, ohne als störend oder sanktionierend wahrgenommen zu werden, insbesondere in frühen Lernphasen. Darüber hinaus ergibt sich die Anforderung einer modularen Struktur der Lerninhalte, da VR von den Befragten überwiegend als ergänzendes Format zur Vor- oder Nachbereitung bestehender Schulungen eingeordnet wird.

Neben der technischen Gestaltung ist die Implementierung der VR-Schulung zentral für deren Akzeptanz. Die qualitativen Befunde zeigen, dass Vorbehalte weniger der Technologie selbst gelten als ihrer Einführung und Einbettung in bestehende Routinen. Aufgrund begrenzter zeitlicher und personeller Ressourcen ist eine Implementierungsstrategie erforderlich, die zusätzlichen organisatorischen Aufwand minimiert und klare Rahmenbedingungen schafft.

Als relevante Maßnahme zeichnet sich ein vorgelagertes E-Learning-Angebot ab, das den Mitarbeitenden vor dem ersten VR-Einsatz zur Verfügung gestellt wird. Dieses dient der Einführung in Funktionsweise, Zielsetzung und Umgang mit der VR-Technologie und trägt dazu bei, unterschiedliche Vorerfahrungen auszugleichen. Ergänzend wird die Bedeutung begleitender Kommunikations- und Feedbackprozesse deutlich, durch die Rückmeldungen aus der Anwendung systematisch aufgenommen und in die Weiterentwicklung der VR-Umgebung integriert werden.

5. Diskussion und Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse sind im Kontext der frühen Projektphase von *PharmaXR* einzuordnen und dienen primär der Orientierung und Ableitung erster Gestaltungsannahmen. Die geringe Teilnehmendenzahl der standardisierten Mitarbeitendenbefragung (n = 8) begrenzt die Aussagekraft quantitativer Befunde. Entsprechend sind die Ergebnisse als indikativ zu verstehen. Die qualitativen Interviews liefern hingegen vertiefte Einblicke in bestehende Schulungspraktiken und organisationale Rahmenbedingungen und ermöglichen eine kontextualisierte Einordnung der quantitativen Ergebnisse.

Im Sinne einer arbeitswissenschaftlichen Diskussion lassen sich die Befunde dahingehend bewerten, dass Schulung in qualitätskritischen Produktionskontexten überwiegend arbeitsintegriert erfolgt und stark von implizitem Erfahrungswissen geprägt ist. Die identifizierten Gestaltungsanforderungen an VR-Schulungen stehen damit in engem Zusammenhang mit anerkannten Kriterien menschengerechter

Arbeitsgestaltung, insbesondere hinsichtlich Passung, Transparenz und kognitiver Entlastung. Methodisch ist zu berücksichtigen, dass alle Erhebungen vor der tatsächlichen Nutzung der VR-Schulungsumgebung durchgeführt wurden und sich die Aussagen auf Erwartungen und Vorerfahrungen beziehen.

Der Ausblick knüpft an diese Befunde an. In der nächsten Projektphase wird eine VR-Schulungsumgebung prototypisch umgesetzt, die reale Arbeitsabläufe abbildet und modular in bestehende Qualifizierungsprozesse integriert werden kann. Ergänzend wird ein vorgelagertes E-Learning-Angebot eingesetzt, um Mitarbeitende frühzeitig an die Technologie heranzuführen. Eine begleitende Zwischenerhebung dient der systematischen Erfassung erster Nutzungserfahrungen. In einer zweiten Projektphase werden diese Gestaltungsannahmen überprüft und unter Berücksichtigung technischer, organisatorischer und arbeitswissenschaftlicher Aspekte weiterentwickelt.

6. Literatur

European Commission (2022) *EudraLex – Volume 4: EU guidelines for good manufacturing practice for medicinal products for human and veterinary use. Part I: Basic requirements for medicinal products*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Abruf von https://health.ec.europa.eu/medicinal-products/eudralex/eudralex-volume-4_en am 28.12.2025

Felkl T, Dietrich M, Conein S (2024) Nachhaltiger Kompetenzerhalt für Nicht-Routine-Situationen in digitalisierten Arbeitsumgebungen: Studien an Arbeitsplätzen der chemischen und pharmazeutischen Produktion. In *Krise und Nachhaltigkeit: Herausforderungen für berufliche Bildung,* 113-124. 10.3278/I76713W010

Franke T, Attig C, Wessel D (2019) A personal resource for technology interaction: development and validation of the affinity for technology interaction (ATI) scale. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 35(6), 456-467. 10.1080/10447318.2018.1456150

Hart S G, Staveland L E (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), Human mental workload (S. 139–183). Elsevier. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9

Heinlein M, Huchler N, Wittal R (2023) Erfahrungsgeleitetes Lernen in Virtual Reality-Umgebungen: Möglichkeiten der digital gestützten Kompetenzentwicklung im Arbeitsprozess. In *Kompetenzen von Mitarbeitenden in der digitalisierten Arbeitswelt: Chancen und Risiken für kleine und mittlere Unternehmen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 183-186. 10.1007/978-3-662-66992-1_10

Kothgassner O D, Felnhofer A, Hauk N, Kastenhofer E, Gomm J, Kryspin-Exner I (2012) TUI. *Technology Usage Inventory*. Abgerufen von https://www.ffg.at/sites/default/files/allgemeine_downloads/thematische%20programme/programmdokumente/tui_manual.pdf.

Prümper J (1997) Der benutzungsfragebogen isonorm 9241/10: Ergebnisse zur reliabilität und validität. In *Software-Ergonomie'97: Usability Engineering: Integration von Mensch-Computer-Interaktion und Software-Entwicklung* (pp. 253-262). Wiesbaden: Vieweg+ Teubner Verlag. 10.1007/978-3-322-86782-7_21

Sträter O (2023) Basisarbeit und menschengerechte Arbeitsgestaltung–Strategische Erfordernisse und Ansätze. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 77(4), 570-575. 10.1007/s41449-023-00398-y

Sträter O, Zwingmann B (2025) Kontexte, Bedingungsgefüge und Ermöglichungen einer menschengerechten Arbeitsgestaltung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, *79*(4), 481-493. 10.1007/s41449-025-00497-y

Sträter O, Unger M, Wehrmann J, Englisch F (2022) Modulare Analyse der Belastungsfaktoren in Organisationen (MABO): Ein ganzheitliches, adaptives und praxisnahes Instrument zur psychischen Gefährdungsbeurteilung (Teil 1 von 2). Sicher ist sicher – Arbeitsschutz aktuell, 73(1), 12–18.

Cyberangriffe: Folgen für die Gefährdungen im Arbeitsschutz und Auswirkungen auf die Gestaltung von menschengerechter Arbeit

Jamie-Lee CAMPBELL

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
Nöldnerstr. 40/42, D-10317 Berlin

Kurzfassung: Cyberangriffe können sich auf das Risiko und die Gefährdungen im Bereich des Arbeitsschutzes und somit auf die menschengerechte Gestaltung von Arbeit auswirken. Der Vortrag stellt erste Denkansätze zur Erschließung dieser Thematik vor, indem mögliche Auswirkungen auf die Ausführbarkeit, Schädigungslosigkeit und Beeinträchtigungsfreiheit für Beschäftigte nach einem Cyberangriff vorgestellt werden. Da es generell an einer belastbaren Datengrundlage fehlt, um besonders betroffene Handlungsfelder auszumachen, zielt der Vortrag darauf ab, einen Denkraum für weitere Forschung zu eröffnen und anzuregen.

Schlüsselwörter: Cyberangriffe, Sicherheit, Arbeitsschutz, Resilienz, Gefährdung, Digitalisierung

1. Cyberangriffe sind eine umfassende Herausforderung

Arbeitsplätze werden zunehmend digitaler und automatisierter. Dadurch ergeben sich neue Möglichkeiten von und Gefahren durch Cyberangriffe, die sich auf die Arbeit von Beschäftigten auswirken. Die deutschen Sicherheitsbehörden warnen vor steigenden Risiken durch Cyberangriffe (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik 2024). Besonders im Fokus liegen dabei Unternehmen der Kritischen Infrastruktur, aber auch alle anderen Bereiche (Bundeskriminalamt 2024). Die Risiken und Folgen für die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten werden im gesellschaftlichen Diskurs bisher nicht oder nur unzureichend berücksichtigt. Im Falle eines Cyberangriffs werden Arbeitsprozesse gestört, und in den Fokus rücken vor allem die Aufrechterhaltung des Betriebs und die Sicherstellung der Versorgung oder der Aufgabenerfüllung einer Institution.

Die Europäische Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz benennt Cyberangriffe als neue Herausforderung für den Arbeitsschutz (EU-OSHA 2022). Eine Sensibilisierung und Bewusstseinsmachung (= Awareness) für die möglichen Folgen von Cyberangriffen auf die Arbeitsbedingungen ist essenziell, damit Maßnahmen zur (IT-/Unternehmens-/Individual-) Resilienz formuliert, angepasst und initiiert werden können. Vorgaben im Arbeitsschutz adressieren an verschiedenen Stellen Kriterien zur menschengerechten Gestaltung von Arbeit. Somit berühren Cyberangriffe durch ihre möglichen, arbeitsschutzrelevanten Kollateralschäden auch Themen der menschengerechten Gestaltung von Arbeit.

Durch die allgemeinen Entwicklungen in OK-Kriminalität, Sabotage, Spionage und hybrider Kriegsführung sind alle Betriebe/Institutionen einer zunehmenden Persistenz und, durch die Digitalisierung, auch einer steigenden Vulnerabilität von und durch Cyberangriffe ausgesetzt. Diese allgemeinen Entwicklungen lassen einen Anstieg von Disruptionen durch Cyberangriffe in den Betrieben und damit auch in der Arbeitsrealität

von uns allen erwarten. Letzteres wird sich somit folglich auch auf die allgemeine Gestaltung menschengerechter Arbeit auswirken.

2. Welche Auswirkungen können Cyberangriffe haben?

Bisher existiert weder ein umfangreiches (systematisches) Praxiswissen zum Einfluss von Cyberangriffen auf den Arbeitsschutz, noch gibt es hierzu viele empirische Studien (Campbell & Biniok 2025). Die Problematik ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass die Verbindung von Cyberangriffen und potentiellen, arbeitsbezogenen Konsequenzen nicht hinreichend im Bewusstsein verankert ist. Publikationen, die sich mit der Kombination beider Themen auseinandergesetzt haben, sind zum einen ein Artikel der DGUV, welcher die Betroffenheit und Schutzmöglichkeiten von Unternehmen und Auswirkungen für verschiedene Bereiche des Arbeitsschutzes durch Cyberkriminalität umfasst und Schutzansätze von Unternehmen aufzeigt (Klüser 2025). Sowie zum anderen zwei Artikel der BAuA. Der Artikel von Campbell und Biniok (2025) gibt eine umfangreiche Übersicht, welche verschiedenen arbeitsschutzrelevanten Folgen durch Cyberangriffe möglich sind. Diese ersten Erkenntnisse fußen auf einer umfangreichen Literaturrecherche sowie Erkenntnisabfragen relevanter deutscher Behörden (u. a. Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe). Der Artikel von Sonnenburg, Richter und Voß (2025) zeigt auf, wie IT-Sicherheit, Prozesssicherheit und Arbeitsschutz zusammen gedacht und designt werden müssen, welche Gesetze und Normen relevant und teilweise in einem Spannungsfeld zueinander stehen.

Werden die (theoretischen) Überlegungen der Artikel auf die Kriterien menschengerechter Arbeit angewendet, zeigt sich, dass Cyberangriffe hier auf drei Kriterien Einfluss nehmen könnten: Ausführbarkeit, Schädigungslosigkeit und Beeinträchtigungsfreiheit.

2.1 Einfluss auf Ausführbarkeit der Arbeit

Ausführbarkeit meint, dass die Anforderungen an die Arbeit die Kräfte der ausführenden Person nicht übersteigen und diese langfristig in der Lage ist, die Arbeit auszuführen (Nerdinger et al. 2008). Die Folgen von Cyberangriffen können die Ausführbarkeit von Arbeit einschränken bis unmöglich machen durch (in)direkte Angriffe auf das soziotechnische System. Beispiele dafür sind die Temperaturmanipulation bei temperatursensiblen Arbeitsplätzen (etwa im Bereich der chemischen Industrie, Krankenhäuser, Lieferketten, Labore oder Produktion), die Arbeit mit temperatursensiblen Gefahrstoffen, welche ggf. zu schweren oder tödlichen Verletzungen führen können (Klüser 2025), oder auch das Abstellen der Heizung im Winter in der Verwaltung oder der Universität.

Bei einem Denial of Service Angriff oder bei einer Shut-Down Reaktion auf einen Cyberangriff können gesamte Systeme abgeschaltet werden, so dass die Arbeit gar nicht oder nur im Analogbetrieb durchgeführt werden kann. Zudem können Arbeitsprozesse physisch anspruchsvoller werden und die Ermüdung der Beschäftigten ein erhöhtes Verletzungsrisiko mit sich bringen (Campbell & Biniok 2025). Dies kann zu veränderten Belastungen und Herausforderungen bei der Ausführung der Arbeit führen, z. B. Aufrechterhaltung des Krankenhausbetriebs, obwohl kein Zugang zu den elektronischen Patientenakten besteht (Landi 2023).

2.2 Einfluss auf die Schädigungslosigkeit

Schädigungslosigkeit bezieht sich auf die Freiheit von Schaden durch Umgebungsfaktoren oder Gefahrstoffe bei der Arbeit (Nerdinger et al. 2008). Cyberangriffe können durch Manipulationen von Maschinen zu einer erhöhten Unfallgefahr oder erhöhten Schadenseintrittswahrscheinlichkeit führen (Sonnenburg, Richter & Voß 2025). Ein Beispiel können veränderte Unfall- und Verletzungsgefahren durch direkte Kollisionen mit fremdgesteuerten Arbeitsgegenständen oder bewegten Teilen sein (z. B. Drohnen, Roboter, Autos, Schiffe, Baumaschinen, Tunnelbohrmaschinen). Die Perspektive auf vermehrten Drohneneinsatz (u. a. bei Polizei, Post, Müllabfuhr, etc.) erweitert dieses mögliche Risiko neben dem Betriebsgelände perspektivisch auch auf das Stadtgebiet, wenn dort vermehrt Drohnen in den Einsatz kommen (Campbell & Biniok 2025). Daneben kann auch ein höheres Verletzungsrisiko aufgrund weniger eingeübter und umständlicher Arbeitsprozesse mit Arbeitsmitteln bei der Umstellung auf manuelle/ Vor-Ort-Tätigkeiten (Schaltungen an Anlagen selbst) bestehen.

2.3 Einfluss auf die Beeinträchtigungsfreiheit

Das Kriterium *Beeinträchtigungsfreiheit* bedeutet, dass die Beeinträchtigung durch die Arbeit zumutbar ist (Nerdinger et al. 2008). Gerade Beschäftigte in der IT und dem Krisenmanagement sind während und auch nach einem Cyberangriff erhöhtem Stress ausgesetzt. Daneben könnten sich Stresseffekte durch einen Cyberangriff auch auf größere Teile der Belegschaft auswirken. So könnte der Ausfall von Produktionsstätten zu einem Anstieg von Arbeitsintensität und Überstunden mittel- bis langfristig führen, wenn die „Verluste“ wieder reingeholt werden müssen (Campbell & Biniok 2025). Verschiedene Studien belegen in ersten Ergebnissen anhaltende bis ernsthaft gesundheitsgefährdenden Stressreaktionen (bis zu vereinzelten Herzinfarkten, Krankenhausaufenthalten und PTSD Symptomen) von direkt und indirekt betroffenen Beschäftigten (Mott et al., 2024; Walther 2022). Diese Symptome sind mittel- bis langfristig vorhanden (Mott et al., 2024; Walther 2022). Gerade durch die zunehmende Verbreitung von Cyberangriffen sollten diese (in)direkten psychischen und gesundheitlichen Folgen für die Beeinträchtigungsfreiheit der Belegschaft systematisch analysiert werden. Gerade auch in Hinblick auf die verschiedenen zeitlichen Phasen nach einem Cyberangriff: die erste Woche, der erste Monat, nach einem Jahr, da in diesen Phasen unterschiedliche Ansprüche und Aufgaben durch die geschädigte Organisation und damit die Beschäftigten bewältigt werden müssen (Walther 2022).

3. Wo kann die Forschung ansetzen?

Es sollte analysiert werden, in welchem Ausmaß der Arbeitsschutz und damit temporär die drei genannten Kriterien der menschengerechten Arbeitsgestaltung durch Cyberangriffe aktuell und zukünftig beeinträchtigt/beeinflusst werden können. Die Artikel Klüser (2025), Sonnenburg, Richter, und Voß (2025) und Campbell und Biniok (2025) geben hier in vielfältiger Weise Denk- und Themenansätze für eine tiefere empirische Beschäftigung mit der Thematik. Daneben wären Analysen hinsichtlich Unterschiede in der Intensität und Temporalität der Beeinträchtigung durch Cyberangriffe (z. B. Wirtschaftssektoren, unterschiedliche Betriebsgrößen, bestimmte

Berufsgruppen) und den unterschiedlichen arbeitsschutzrelevanten Folgen (z. B. Arbeitszeit, Unfälle, Berufskrankheiten, Ermüdung, Interaktion im soziotechnischen System nach einem Cyberangriff) sinnvoll. Zudem sollten die Arbeitsbedingungen von direkt und indirekt betroffenen Beschäftigten (inkl. Management und IT) wie auch mögliche Auswirkungen auf den Rest der Belegschaft distinkt analysiert werden.

Aufgrund der allgemeinen, dynamischen Entwicklungen in der Digitalisierung, KI und Cyberangriffen ist es wichtig, eine empirische Grundlage bzgl. deren Auswirkungen auf den Arbeitsschutz vorzunehmen um im Sinne der menschengerechten Arbeit präventiv Veränderungen zur gesteigerten Resilienz vornehmen zu können.

4. Literatur

Bundeskriminalamt (2024) Cybercrime Bundeslagebild 2023. Wiesbaden

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2024). Die Lage der I T-Sicherheit in Deutschland 2023. Bonn

Campbell JL, Biniok P (2025) Welche Auswirkungen haben Cyberangriffe auf den Arbeitsschutz? Baua:Fokus. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

EU-OSHA (2022). Incorporating Occupational Safety and Health in the Assessment of Cybersecurity Risks. Diskussionspapier.

Klüser R (2025) Cyberkriminalität. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung.

Landi H (27.11.2023) Ardent Health Service hit with ransomware attack, forcing hospitals in multiple states to divert ambulances. *Fierce Healthcare*: www.fiercehealthcare.com/health-tech/ardent-health-services-hit-ransomware-attack-forcing-hospital-ers-divert-ambulances

Mott G, Turner S, Nurse J R, Pattnaik N, MacColl J, Huesch P, Sullivan J. (2024) 'There was a bit of PTSD every time I walked through the office door': Ransomware harms and the factors that influence the victim organization's experience. Journal of Cybersecurity, 10(1), tyae013.

Nerdinger FW, Blickle G, Schaper N (2008) Arbeits- und Organisationpsychologie. Springer: Heidelberg.

Sonnenburg A, Richter A, Voß S (2025) IT-Sicherheit in der digitalisierten Arbeitswelt: Herausforderungen, gesetzliche Rahmenbedingungen und Auswirkungen auf den Arbeitsschutz. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 79, 433-450.

Walther E (2022) After the Crisis Comes the Blow- The Mental Impact of Ransomware Attacks. Northwave Cyber Security.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Development of a model to quantify mental stress of different coupling modes using eye-tracking data and questionnaires

Florian MARSCHNER[2], Oliver STRÄTER[2], Matthias FAES[1]

[1] Chair for Reliability Engineering, Maschinenbau, Technische Universität Dortmund
Leonhard-Euler-Straße 5, D-44227 Dortmund
[2] Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel
Heinrich-Plett-Strasse 40, D-34132 Kassel

Kurzfassung: This thesis investigated whether mental load differs between coupling modes: simultaneous vs. sequential and unidimensional vs. multidimensional tasks. A controlled experiment with 31 participants used visually guided Lego construction tasks. Mental load was measured with behavioral (task duration, error probability), subjective (NASA-TLX), and physiological (eye-tracking) measures. Results showed higher mental load for multidimensional and simultaneous tasks. An additional task rule may have interfered with planning and grouping strategies. Error patterns and fixation analyses supported the role of Gestalt principles. An LSTM model achieved excellent performance in classifying fixations before and during error corrections, identifying predictive gaze patterns.

Schlüsselwörter: mental load, coupling modes, eye-tracking, pattern complexity, LSTM

1. Introduction

Mental load plays a central role in performance and error occurrence in human–machine interaction. Ongoing technological developments increasingly require users to interact with systems that demand the processing of complex information and the coordination of actions across multiple dimensions. Tasks that involve parallel information streams or simultaneous control requirements can substantially increase mental load, which in turn affects task performance, error rates, and user well-being. Understanding how different task characteristics contribute to mental load is therefore essential for the design and evaluation of technical systems.

An established theoretical approach to describing cognitive interaction between humans and technical systems is the coupling mode framework proposed by Sträter and Bubb (2003). This framework distinguishes different forms of interaction based on how cognitive processes are temporally and structurally coupled to system demands. While the framework is well recognized in the field of cognitive ergonomics, empirical studies that systematically apply specific coupling modes to quantify differences in mental load remain scarce. Existing research has predominantly focused on applied and domain-specific scenarios, such as vehicle operation or clinical information systems, where task structures are complex and difficult to isolate. As a result, controlled comparisons of mental load across clearly defined coupling modes are largely lacking.

The present study addresses this gap by investigating whether mental load differs measurably between selected coupling modes under controlled experimental

conditions. Specifically, two dimensions of coupling are examined: whether tasks are executed sequentially or simultaneously, and whether they involve a single or multiple mental dimensions. The central research question is whether differences in mental load between these coupling modes can be quantified using behavioral, subjective, and eye-tracking measures. Based on the coupling mode framework, it is expected that simultaneous and multi-dimensional tasks will induce higher mental load than sequential and single-dimensional tasks.

To examine this question, a controlled laboratory experiment was conducted using visually guided construction tasks. Participants were asked to recreate randomly generated patterns using red and blue Lego bricks as quickly and accurately as possible. The tasks were designed to reflect the selected coupling modes by varying temporal structure and dimensionality, while maintaining a high level of experimental control. Mental load was assessed using a combination of NASA-TLX ratings, task duration, fixation-based eye-tracking metrics, and error measures. By combining subjective assessments with objective performance and gaze data, this study aims to provide a systematic empirical comparison of mental load across different coupling modes and to contribute to a more precise understanding of how task structure influences cognitive demands in human–machine interaction.

2. Methodology

To assess the influence of simultaneous vs. sequential and uni- vs. multidimensional tasks on mental load three base tasks are described. These tasks should incorporate the above-mentioned coupling modes and minimize any other influences. All three tasks use Lego bricks which must be arranged in a specific way and as fast as possible. The participants are always given eight red and blue bricks which all must be used. The bricks must be arranged on a pattern which is depicted by a picture on a screen in front of the participants.

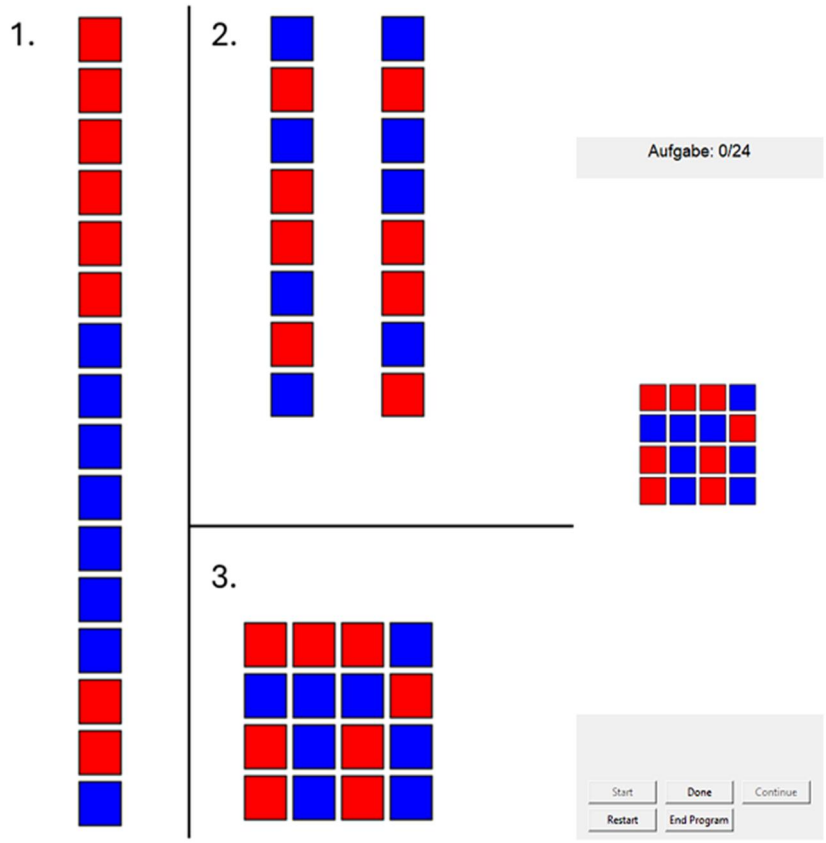


***Figure 1**: Visual representation of patterns.*

To examine the effects of coupling modes on mental load, three visually guided construction tasks were designed. All tasks required participants to arrange eight red and blue Lego bricks according to a reference image displayed on a screen. The bricks had to be placed as quickly and accurately as possible, and all provided bricks had to be used. The tasks differed in their coupling characteristics with respect to the necessary operation and dimensionality (Table 2-1).

***Table 1:** Overview of Task types by coupling modes.*

	Task type 1	**Task type 2**	**Task type 3**
Dimensions	1 spatial	2 spatial + 1 mental	2 spatial
Dimensionality	Uni	Multi	Multi
Necessary Operation	Sequential	Simultaneous	Simultaneous

Task type 1 required participants to build a single tower of 16 bricks. As only height could be manipulated and the construction order was fully determined by the pattern, this task was considered sequential and unidimensional. Task type 2 required the construction of two towers with a height of eight bricks each. The task was classified as simultaneous, as both towers had to be built in parallel. To prevent sequential completion, an additional constraint was introduced: the height difference between the two towers was limited to two bricks (“height rule”). This rule added a mental dimension that required continuous monitoring, resulting in two spatial and one mental dimension.

Task type 3 required participants to construct a 4×4 field based on a reference pattern. As multiple placement options were available at each step and two spatial dimensions were involved, this task was considered simultaneous and multidimensional

Based on the coupling mode framework, task type 2 was expected to induce the highest mental load, followed by task type 3, while task type 1 was expected to result in the lowest mental load. Each task type was repeated eight times using randomly generated patterns, resulting in 24 trials per participant. Task order was randomized to control for learning and order effects. Mental load was assessed using NASA-TLX ratings, task duration, eye-tracking metrics, and error analysis.

3. Results

The experiment was conducted over nine days at three different locations and involves 31 participants of whom 18 are male and 13 female. The participants were between 18 and 62 years old with an average of 36 years. Due to the change of location, the setup changed from having a mouse and keyboard with a separate screen to a setup only using a laptop. The following sections summarize the main results and hypotheses.

3.1. Task duration and NASA-TLX summary

The NASA-TLX assessment showed that mental demand was higher than physical demand, though physical demand still contributed notably and varied between task types, possibly due to the physical characteristics of the bricks and the way the towers were built. As with the task duration for the NASA TLX-Scores across most dimensions, a 2-1-3 sequence was observed, indicating that sequential tasks can be more demanding than simultaneous tasks. Task type 2 consistently stood out, likely due to the height rule and other physical factors, while physical demand and performance followed different patterns, highlighting the distinct challenges of task type 2.

3.2. Summary fixation analysis

In summary, with only 3 % of fixation data missing only minor influences are to be expected. This does not include participant 29, who was not analyzed in this study. However, when comparing on-screen fixations 22.9 % of data was missing, mostly due to the QR markers not recognized by the eye-tracking software. Analyzing the fixation duration and count by participant showed a high range for both, highlighting the inter-individual differences between participants. The outliers for participants 20 and 3 could not be explained. Additionally, analyzing the fixation analysis by task number did not show a clear trend, indicating that short term effects of mental load played no significant role or balanced themselves out. Contrary to the 2-1-3 sequence found in task duration and NASA-TLX, the analysis of fixation count by task type showed a 2-3-1 sequence with task type 2 standing out. This is another indicator for the significant influence of the height rule on mental load. Furthermore, the sequence fits with the expectations of mental load for coupling modes. Fixation duration analysis gives further support. The observed 1-3-2 sequence is assumed to represent a 2-3-1 sequence in mental load in fast paced environments which can be assumed in this experiment. Task type 2 also exhibited the highest load, although less distinct than in fixation count.

Lastly, the analysis of on-screen fixations demonstrated that participants fixated the screen 243 % more often and 55 % longer than their surroundings, indicating that most of the time is used to encode information.

3.3. Summary error analysis

The error analysis showed that the definition and probability of type 1 and 2 errors align with previous findings in literature. Breaking the height rule was considered a type 3 error and was not analyzed further because they were considered outside influences. However, this seems to be a critical flaw in the analysis as the height rule seems to have significant influence on the results.
Like the task duration and NASA-TLX results the total and type 2 error probability followed a 2-1-3 sequence. The analysis of type 2 errors provided a connection between mode errors and possibility of features to emerge based on the geometry of the tasks. Specifically, the possibility of Gestalt principles to be applied in a task seems to correlate with the probability of type 2 errors occurring. This connection is further supported by the comparison of type 1 errors between task types which follows a 3-2-1 sequence. This sequence is assumed to be a result of the geometry of the task types providing different amounts of possible Gestalt principles to apply.
This assumption is also supported by the increase in fixation duration by task type from outside to inside the ECT which also follows a 3-2-1 sequence. The overall longer fixation duration inside the ECT is assumed to be a result of freed up mental capacity by not having to place the bricks. The physical demand from the NASA-TLX Scores supported the influence of physical demand on the performance of the participants.
These findings suggest that task type 1 should show most type 2 errors which was not the case as the observed sequence is 2-1-3 not 1-2-3. This was interpreted as the influence of the height rule on mental load for task type 2, resulting in the highest amount of type 2 errors. This is further supported by the observation that at least 50 % of all errors happened during task type 2. Additionally, a hypothesis that states that the occurrence of errors influences task duration and NASA-TLX scores was presented, based on the observed 2-1-3 sequence for all of them.
Lastly, the detection mechanisms were subjectively defined and the errors classified accordingly. The analysis showed that the mechanism bricks left appears to be just a slight deviation from the regular building process. The mechanism compare to illustration seems to be a safer and methodical approach, as participants search for mistake brick-by-brick.

3.4. Summary Investigative approaches:

The analysis of pattern complexity and the LSTM model should be regarded as investigative extensions. While they provided interesting insights and demonstrated methodological potential, they did not directly address the central research question of this thesis and are therefore to be understood as complementary rather than core findings.

The pattern complexity analysis was conducted because the patterns were generated randomly and therefore the task complexity might have an influence on the results. Analyzing pattern complexity via heatmaps revealed that for patterns with type 2 errors a significantly higher HDD and higher variability in the heatmaps were found. This variability represents less homogeneous patterns for which it seems reasonable to assume that the Gestalt principles are harder to apply correctly.

The LSTM model was trained to investigate differences in the fixation data between patterns that resulted in errors and those that did not. This was done by training an LSTM model to classify fixations as inside or outside the ECT for which it showed an exceptional performance. The analysis of the training curve showed that no signs of overfitting could be found. Furthermore, the model performed consistently over 5 folds, showing the generalizability of the model. These results were achieved by adding a custom focal loss layer as well as oversampling. Additionally, the fixations around the error showed differences in form of peaks and a higher amplitude of fixation duration between the 14th fixation before and the 1st fixation after the error. The fixation duration of the fixations before the error could be a potential input for an LSTM model.

4. Literature

Sträter O., Bubb H (2003) Design of Systems in Settings with Remote Access to Cognitive Performance. In: Hollnagel E (Ed..), Handbook of Cognitive Task Design (pp. 333–367) Lawrence Erlbaum.

BASA Safety Score – Messung der Sicherheitskultur im Unternehmen

Matthias SCHMIDT

BASA-Netzwerk, Hochschule Zittau/Görlitz
Brückenstraße 3, D-02826 Görlitz

Kurzfassung: Auf Basis des BASA (Psychologische Bewertung von Arbeitsbedingungen – Screening für Arbeitsplatzinhaber) wurden von einer Experten-Fokusgruppe geeignete Items identifiziert, die zentrale organisationale Voraussetzungen der Sicherheitskultur abbilden und zu einem BASA Safety Score zusammengeführt werden können (Schmidt & Hühn, 2025; Richter & Schatte, 2001; Walter et al., 2022). Die Ergebnisse zeigen vier Item-Kategorien (Ausstattung/Sicherheitstechnik, Sicherheits-kommunikation und Fehlerkultur, Sozialkapital und Kooperation, Zeit-/Leistungsdruck und organisationale Rahmenbedingungen), die für Diagnose und Evaluation sicherheitsbezogener Maßnahmen nutzbar sind .

Schlüsselwörter: Sicherheitskultur, BASA IV, psychische Belastung, Fehlerkultur

1. Einleitung

In der Forschung besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass Sicherheitskultur ein Teil der Organisationskultur ist, der durch Einstellungen, Werte und Verhaltensmuster von Führungskräften und Beschäftigten geprägt wird (Schein, 2010). Ebenenmodelle der Unternehmenskultur unterscheiden sichtbare Merkmale, herausgestellte Werte sowie grundlegende, häufig implizite Annahmen, was sich auf Sicherheitskultur übertragen lässt (Schein, 2010). Cooper (2016) beschreibt Sicherheitskultur als reziprokes Zusammenspiel von psychologischen, situativen und verhaltensbezogenen Komponenten, in dem Sicherheitswissen, Sicherheitsmotivation und beobachtbares Verhalten mit Strukturen und Managementsystemen wechselwirken.

Ergänzend betonen Konzepte wie Fehlerkultur und Sozialkapital – verstanden als Vertrauen, Unterstützung, gemeinsame Werte und offene Kommunikation – ihre Bedeutung für lernorientierten Umgang mit Fehlern und sicherheitsförderliches Verhalten (Pfaff, 2009). Visuelle Modelle wie das Swiss-Cheese-Modell illustrieren, dass Unfälle häufig entstehen, wenn mehrere organisatorische und technische Barrieren gleichzeitig versagen (Reason, 2000; Schweizerische Eidgenossenschaft, 2020).

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, inwieweit bestehende Instrumente zur Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung genutzt werden können, um Sicherheitskultur messbar zu machen (BAuA, 2014; Walter et al., 2022).

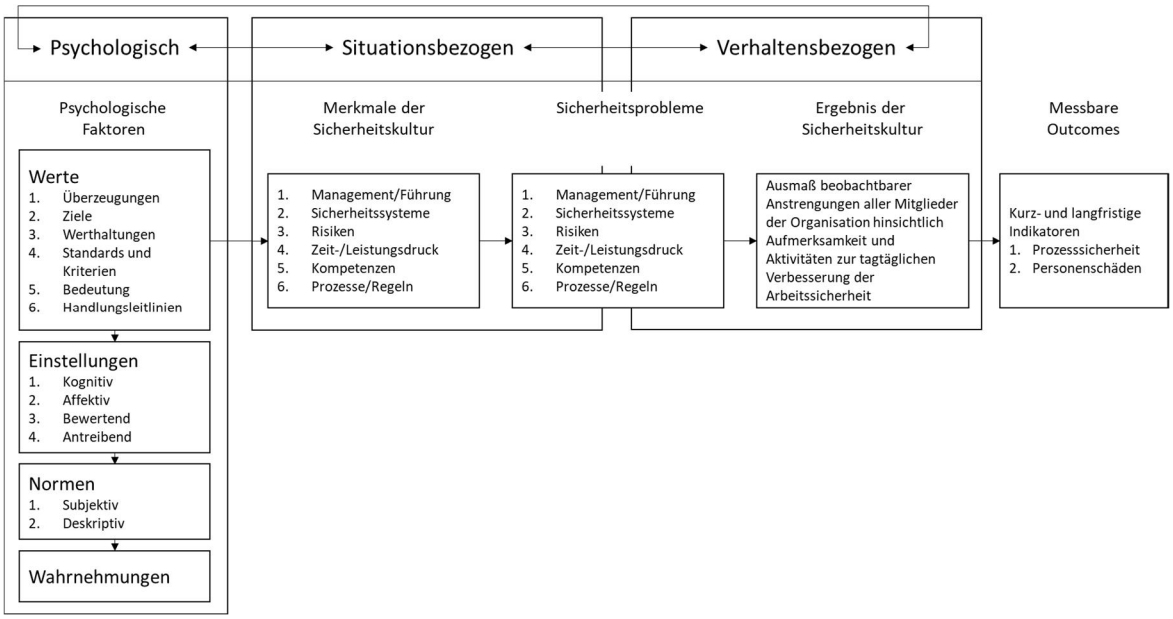


Abbildung 1: *Modell der Sicherheitskultur nach Cooper (2016).*

Der BASA IV ist ein Instrument, das ursprünglich zur Erfassung psychischer Belastungen und Ressourcen am Arbeitsplatz entwickelt wurde und mittlerweile auch sicherheitkulturelle Merkmale abdeckt und eine separate Auswertung in Form des BASA Safety Culture Index abbilden kann (Schmidt & Hühn, 2025).

2. Hintergrund: BASA IV und Sicherheitskultur

Der BASA IV ist ein standardisiertes Verfahren zur Erfassung psychischer Belastungen und Ressourcen am Arbeitsplatz und dient der Gefährdungsbeurteilung sowie der Ableitung von Gestaltungsmaßnahmen (Richter & Schatte, 2001; Walter et al., 2022, Schmidt & Hühn, 2025). Das Instrument erfasst GDA-konforme Merkmale des Arbeitsinhalts, der Arbeitsorganisation, der sozialen Beziehungen sowie der Arbeitsumgebung und Arbeitsmittel und enthält explizite Merkmale zur Sicherheitstechnik (Walter et al., 2022). Alle Merkmale werden bedingungsbezogen erhoben und von den Beschäftigten zusätzlich arbeitspsychologisch bewertet („gut“, „weder gut noch schlecht“, „schlecht“), wodurch sowohl objektnahe Bedingungen als auch subjektive Einstellungen sichtbar werden

Abbildung 2*: Die zweiteilige Fragetechnik, arbeitswissenschaftlich und arbeitspsychologisch (Schmidt & Hühn, 2025). Die Demo mit KI-Auswertung ist hier erreichbar: https://demo-login.acomera.com.*

Im Kontext der Sicherheitskultur sind besonders jene Merkmalsbereiche relevant, die Sicherheitskommunikation, sicherheitsbezogenes Führungsverhalten, Fehlerfeedback, Unterweisungspraxis, Zeit- und Leistungsdruck, Störungen und

Unterbrechungen, Kooperation und Unterstützung sowie Informations- und Ressourcenverfügbarkeit abbilden (BAuA, 2014; Swuste et al., 2016). Empirische Modelle zeigen, dass organisationale und tätigkeitsbezogene Prädiktoren wie Sicherheitskommunikation, Führungsverhalten, Arbeitszufriedenheit und Stresserleben die Entwicklung von Sicherheitsmotivation, Sicherheitswissen und Risikowahrnehmung erheblich beeinflussen.

Die zentrale Forschungsfrage des Beitrags lautet: Welche BASA-IV-Items eignen sich zur Vorhersage und Analyse von Sicherheitskultur in Unternehmen?

3. Methodik

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden BASA-IV-Items in einer Experten-Fokusgruppe systematisch bewertet. An der Fokusgruppe nahmen Vertreterinnen und Vertreter aus sechs Unternehmen teil, die unterschiedliche Branchen abbilden und Praxiserfahrungen im Arbeits- und Gesundheitsschutz einbrachten (vgl. BAuA, 2014; Walter et al., 2022). Beispiele aus industriellen Großunternehmen, etwa Sicherheitsinitiativen bei Siemens Energy, wurden genutzt, um die Relevanz der Items für beobachtbare Sicherheitsmerkmale und Sicherheitskultur zu illustrieren (Schmidt & Frömter, 2025).

Im ersten Schritt wurden alle BASA-IV-Items mit Bezug zur Sicherheitskultur identifiziert und theoretischen Kategorien zugeordnet, die auf etablierten Modellen der Sicherheitskultur basieren (Cooper, 2016; Schein, 2010). Dazu zählten die Ebenen sichtbarer Merkmale, herausgestellter Werte und grundlegender Annahmen sowie Prädiktoren wie Sicherheitskommunikation, Führungsverhalten, Sozialkapital, Zeit- und Leistungsdruck, Stresserleben und Arbeitszufriedenheit (Swuste et al., 2016).

Im zweiten Schritt bewerteten die Experten die Relevanz der Items hinsichtlich ihrer Eignung zur Erfassung von Sicherheitskultur anhand der Kriterien sichtbare Sicherheitsmerkmale, Sicherheitskommunikation und Fehlerkultur, Sozialkapital und Kooperation sowie Zeit-/Leistungsdruck und organisationale Rahmenbedingungen (Pfaff, 2009). Die arbeitspsychologische Bewertung der Items durch die Beschäftigten wurde als Indikator genutzt, inwieweit diese Sicherheitsaspekte als ausreichend umgesetzt und wertgeschätzt erlebt werden. Auf dieser Basis wurden thematische Kategorien definiert, die zu einem BASA Safety Score aggregiert werden können.

4. Ergebnisse

Die Analyse ergab vier zentrale Item-Kategorien, die wesentliche organisationale Voraussetzungen der Sicherheitskultur abbilden: (1) Ausstattung und Sicherheitstechnik, (2) Sicherheitskommunikation, Fehlerfeedback und Unterweisungen, (3) Sozialkapital und Kooperation sowie (4) Zeit-/Leistungsdruck, Stresserleben und organisationale Rahmenbedingungen.

4.1 Ausstattung und Sicherheitstechnik

Die erste Kategorie umfasst Items zu Sicherheitsvorrichtungen, Stellteilen, Signalgebern und persönlicher Schutzausrüstung. Bewertet werden Vollständigkeit, Zweckmäßigkeit und Zustand von Sicherheitsvorrichtungen, Erreichbarkeit von Stellteilen, Ablesbarkeit von Signalen sowie Verfügbarkeit, Ordnung und Tragekomfort

der PSA (BASA-Netzwerk, 2021; Walter et al., 2022). Diese Merkmale repräsentieren die materielle Grundlage von Sicherheitsbarrieren im Sinne des Swiss-Cheese-Modells (Reason, 2000; Schweizerische Eidgenossenschaft, 2020).

4.2 Sicherheitskommunikation, Fehlerfeedback und Unterweisungen

Die zweite Kategorie umfasst Items zu regelmäßigen Arbeitsschutzunterweisungen, Übungen für Gefahrfälle, Angeboten zur Gesundheitsförderung sowie Qualifizierungs- und Supervisionsangeboten nach sicherheitsrelevanten Ereignissen (BAuA, 2014; Walter et al., 2022). Ergänzend werden Items zum Umgang mit Fehlern, etwa sachliche Ursachensuche und Feedback zu Fehlern, als Indikatoren einer lernorientierten Fehlerkultur einbezogen (Pfaff, 2009; Wolf, 2024). Diese Merkmale lassen Rückschlüsse darauf zu, ob sicherheitsbezogenes Wissen systematisch aufgebaut wird und ob Fehler als Lernchance verstanden werden (Cooper, 2016; Swuste et al., 2016).

4.3 Sozialkapital und Kooperation

Die dritte Kategorie bündelt Items zu fachlicher und sozialer Unterstützung durch Kolleginnen, Kollegen und Führungskräfte, zu gegenseitiger Anerkennung, zum fairen Umgang mit Konflikten sowie zur Qualität der Zusammenarbeit innerhalb und zwischen Bereichen (Pfaff, 2009). Diese Merkmale spiegeln Vertrauen, gemeinsame Werte und offene Kommunikation wider, die als zentrale Ressourcen einer wirksamen Sicherheitskultur gelten (Schweizerische Eidgenossenschaft, 2020). In einem unterstützenden Klima ist es wahrscheinlicher, dass Beschäftigte Risiken ansprechen, sicherheitskritische Situationen melden und sich aktiv an Sicherheitsmaßnahmen beteiligen (Cooper, 2016; Pfaff, 2009).

4.4 Zeit-/Leistungsdruck, Stresserleben und organisationale Rahmenbedingungen

Die vierte Kategorie umfasst Items zu Zeit- und Leistungsdruck, Personalengpässen, Störungen und Unterbrechungen, Überstunden, Erreichbarkeitserwartungen, Pausenqualität, Informationsflüssen sowie Klarheit von Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten (BAuA, 2014; BASA-Netzwerk, 2021). Ergänzt werden Items zu Beteiligungsmöglichkeiten, Gestaltungsspielraum, Entwicklungs- und Aufstiegschancen sowie Anerkennung und Nachvollziehbarkeit von Managemententscheidungen, die mit Arbeitszufriedenheit und Commitment zusammenhängen (Walter et al., 2022). Hoher Zeitdruck, häufige Unterbrechungen und unklare Zuständigkeiten erhöhen das Risiko für riskante Abkürzungen, während klare Strukturen und ausreichend Ressourcen sicherheitskonformes Verhalten unterstützen (BAuA, 2014; Cooper, 2016).

5. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass BASA-IV-Items in vier konsistente Kategorien überführt werden können, die zentrale organisationale Voraussetzungen der Sicherheitskultur abbilden. Der daraus abgeleitete BASA Safety Score bündelt Aspekte der technischen Sicherheit, der Sicherheitskommunikation und Fehlerkultur, des Sozialkapitals sowie der arbeitsorganisatorischen Rahmenbedingungen in einer

kompakten Kennzahl (BASA-Netzwerk, 2021; Walter et al., 2022). Damit erweitert der Score den bisherigen Fokus des BASA IV auf psychische Belastungen und Ressourcen um eine explizite sicherheitskulturbezogene Perspektive (Richter & Schatte, 2001; Walter et al., 2022).

Unternehmen können den BASA Safety Score nutzen, um prioritäre Handlungsfelder zu identifizieren, etwa die Qualität von Unterweisungen, den Umgang mit Fehlern, die Kooperationskultur oder die Reduktion sicherheitskritischen Zeitdrucks (Schmidt & Hühn, 2026; Cooper, 2016). Dies ist insbesondere für verhaltensorientierte Sicherheitsprogramme wie Behavior Based Safety relevant, bei denen die Verknüpfung von beobachtbarem Verhalten mit organisationalen Kontextbedingungen und Sicherheitskultur im Vordergrund steht (Geller, 2001; Swuste et al., 2016).

Zugleich zeigen sich Lücken in der Abdeckung spezifischer Facetten der Sicherheitskultur, etwa sicherheitsbezogenen Führungsverhaltens und formaler Sicherheitsprozesse (Cooper, 2016; Schweizerische Eidgenossenschaft, 2020). Für eine umfassende Beurteilung erscheint die Ergänzung des BASA IV um entsprechende Items sinnvoll, um Aspekte wie sicherheitsbezogene Vorbildfunktion, Priorisierung von Sicherheit und systematische Bearbeitung von Beinahe-Ereignissen abzubilden.

Items	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D	Gruppe E	Gruppe F	Gruppe G	Gruppe H	Nicht zugeordnet	**Gesamt**
Signal-Maschinen-Übereinstimmung	86% (166)		90% (462)	81% (183)	80% (372)	66% (555)	100% (151)	100% (47)	100% (52)	82% **(1988)**
Verhaltensübung in Gefahrfällen	100% (69)	100% (270)	92% (872)	78% (385)	91% (377)	86% (475)	79% (186)	66% (68)	100% (22)	89% **(2724)**
Vorbeugen vor Verletzungen	94% (300)	100% (449)	99% (886)	87% (445)	91% (709)	88% (621)	90% (391)	81% (158)	100% (107)	93% **(4066)**
Vorbeugen vor Unfällen	100% (255)	100% (423)	93% (925)	87% (451)	100% (602)	81% (527)	100% (330)	73% (162)	100% (82)	93% **(3757)**
Gesundheitsförderung	100% (217)	84% (456)	90% (842)	95% (546)	66% (515)	70% (419)	64% (369)	83% (184)	100% (94)	82% **(3642)**
Erhebliche Fehler-Konsequenzen	24% (155)	52% (415)	41% (291)	47% (252)	56% (355)	38% (319)	100% (177)	34% (202)	100% (38)	50% **(2204)**
Regelmäßige Arbeitsschutzunterweisungen	87% (313)	89% (430)	91% (1185)	97% (388)	90% (608)	98% (550)	76% (550)	71% (271)	100% (37)	89% **(4332)**
Rückmeldung eigener Fehler	83% (340)	95% (466)	85% (1026)	77% (403)	89% (596)	94% (571)	82% (474)	66% (356)	56% (80)	85% **(4312)**
Vorbeugung von Übergriffen durch ext. Menschen	100% (93)	100% (63)	/	100% (47)	59% (85)	100% (25)	76% (174)	100% (63)		86% **(550)**
Herausfordernde Situationen mit Außenstehenden	100% (13)	100% (55)	100% (63)	100% (58)	100% (60)	/	100% (95)	/		100% **(344)**
Gesamt	86% **(186)**	91% **(336)**	/	85% **(316)**	84% **(418)**	/	87% **(290)**	/	95% **(64)**	85% **(2611)**

Sicherheitsrisiko

Abbildung 3: *Beispielhafte Darstellung des BASA Safety Scores in der Auswertung für den Bereich Sicherheitskommunikation & Sicherheitswissen. Je dunkler der Fleck und je kleiner der Wert, desto höher das Risiko. Die Gruppen A bis H können Abteilungen, Standorte oder andere Teilorganisationen sein um Vergleiche darzustellen (Schmidt & Hühn, 2026).*

6. Praxisimplikationen und Ausblick

In der betrieblichen Praxis kann der BASA Safety Score als niedrigschwellige Erweiterung bestehender Gefährdungsbeurteilungen psychischer Belastung genutzt werden. Die Kombination aus arbeitswissenschaftlicher Beschreibung und

arbeitspsychologischer Bewertung der Items erlaubt es, sowohl objektnahe Defizite (z. B. unzureichende Sicherheitstechnik, hoher Zeitdruck) als auch subjektive Einstellungen (z. B. wahrgenommene Fairness im Umgang mit Fehlern, Vertrauen in Führung) sichtbar zu machen (BAuA, 2014; BASA-Netzwerk, 2021).

Unternehmen können den Score verwenden, um

- technische, organisatorische und personenbezogene Sicherheitsmaßnahmen gezielt abzuleiten,
- Programme zur Verbesserung des Sicherheitsverhaltens (z. B. Behavior Based Safety) zu begleiten und zu evaluieren,
- sowie Führungskräfte- und Teamentwicklungsmaßnahmen stärker an den Dimensionen Sicherheitskommunikation, Fehlerkultur und Sozialkapital auszurichten (Cooper, 2016; Geller, 2001; Schmidt & Frömter, 2025).

Für zukünftige Arbeiten ist die psychometrische Prüfung des BASA Safety Score, u. a. hinsichtlich Reliabilität und Faktorstruktur, sowie die Untersuchung seiner prognostischen Validität in Bezug auf Sicherheitsindikatoren (z. B. Unfallraten, Beinahe-Ereignisse, sicherheitsbezogene Meldungen) erforderlich (Swuste et al., 2016). Darüber hinaus bietet sich eine Erweiterung des Itempools um spezifische Items zu sicherheitsbezogenem Führungsverhalten und Managementprozessen an, um Sicherheitskultur noch umfassender und differenzierter abzubilden (Cooper, 2016; Schweizerische Eidgenossenschaft, 2020).

7. Literatur

BAuA. (2014). Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung: Empfehlungen zur Umsetzung in der Praxis. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Cooper, M. D. (2016). Navigating the safety culture construct: A review of the evidence. BSMS.

Geller, E. S. (2001). The psychology of safety handbook. CRC Press.

Basa-Netzwerk (2022). BASA IV – Überblick und Hintergrund. Hochschule Zittau/Görlitz. Accessed Dez 20, 2025. https://basa.hszg.de.

Pfaff, H., Hammer, A., Ernstmann, N., Kowalski, C., & Ommen, O. (2009). Sicherheitskultur: Definition, Modelle und Gestaltung. Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen, 103(8).

Reason, J. (2000). Human error: Models and management. British Medical Journal, 320(7237), 768–770.

Richter, G., & Schatte, C. (2001). BASA – Psychologische Bewertung von Arbeitsbedingungen: Screening für Arbeitsplatzinhaber. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.

Schweizerische Eidgenossenschaft. (2020). Sicherheitskultur: Konzept und Messung in Hochrisikobereichen.

Schein, E. H. (2010). Organizational culture and leadership (4th ed.). Jossey-Bass.

Schmidt & Frömter (2025). Der BASA im Einsatz bei Siemens Energy in Görlitz. BASA-Netzwerk. Accessed Dez 20, 2025. https://youtu.be/vYlRBNpJhFI?si=ZfqHdU4ja_tf8FkA

Schmidt & Hühn (2025). Digitale Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung. Gesund Arbeit – Gesunde Mitarbeiter – Gesunde Performance. Was ist die ACOMERA-Software? ACOMERA GmbH. Accessed Dez 20, 2025. https://acomera.com/

Schmidt & Hühn (2026). Messung der Sicherheitskultur im Unternehmen mit dem BASA Safety Score. ACOMERA GmbH. Accessed Jan 04, 2026. https://acomera.com/sicherheitskultur.

Swuste, P., van Gulijk, C., & Zwaard, W. (2016). Safety culture: The “hard rock” in safety management. Chemical Engineering Transactions, 48, 859–864.

Walter, G., Roitzsch, K., & Schmidt, M. (2022). Der BASA – Für Gesundheit, Motivation und Unternehmenserfolg. ACOMERA GmbH. Accessed Dez 20, 2025. https://basatest.com/

Validierung von Gehörgangschalldruckpegeln beim Motorradfahren durch Messungen der lokalen Anströmgeschwindigkeit am Helm im Freifeld mithilfe einer Prandtlsonde

Daniel SCHOLL, Karsten KLUTH

Fachgebiet Arbeitswissenschaft / Ergonomie, Universität Siegen
Paul-Bonatz-Straße 9-11, D-57068 Siegen

Kurzfassung: Bereits bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten sind Motorradfahrer erhöhten Lärmexpositionen durch Fahrzeug- und Strömungsgeräusche ausgesetzt. Um die Belastungshöhe festzustellen, wurden zur Pegelermittlung auf einem Freifeld In-Ear-Pegelmessungen bei Fahrversuchen durchgeführt und die vorherschenden Anströmgeschwindigkeiten erfasst. Mit zunehmender Luftgeschwindigkeit nimmt die Pegelhöhe zu und weist eine tieffrequente Dominanz auf. C-bewertete Pegel liegen deshalb systematisch über den A-bewerteten Pegeln. Es konnte nachgewiesen werden, dass die GPS-Geschwindigkeiten und die lokalen Anströmgeschwindigkeiten im Freifeld deutlich voneinander abweichen und somit die Fahrgeschwindigkeit allein keinen belastbaren Expositionsparameter darstellt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine aussagekräftige Betrachtung des Helmlärms eine lokal gemessene Strömungsgröße, eine geeignete Interpretation der Pegel und eine kritische Betrachtung bestehender Auswertestandards erfordert.

Schlüsselwörter: Motorradhelm, Gehörgangschallpegel, Aeroakustik, Anströmgeschwindigkeit, Prandtlsonde, Freifeldmessung

1. Einleitung

Während der Fahrt sind Motorradfahrer einer überdurchschnittlich hohen Lautstärkebelastung ausgesetzt, die nicht zwangsläufig vom Antriebsstrang oder den Reifengeräuschen ausgeht, sondern zu einem großen Teil durch aeroakustische Ereignisse um den Fahrer, die Maschine und vor allem den Helm herum induziert wird (Kennedy et al. 2011). Messungen in den 1990er-Jahren zeigten bereits die übermäßig hohen Lautstärkepegel unterhalb eines Motorradhelmes, welche die Grenzwerte von Lautstärken an (Industrie-)Arbeitsplätzen zu jener Zeit teilweise überschritten (Lower et al. 1994). In der damaligen Untersuchung wurden bei bereits moderaten Geschwindigkeiten, welche dem Äquivalent einer Stadtfahrt entsprachen, Pegel um 90 dB(A) gemessen. Mit zunehmender Geschwindigkeit nahmen die registrierten Pegel zu, sodass bei hohen Geschwindigkeiten Spitzenpegel von bis zu 116 dB(A) im Gehörgang registriert werden konnten (Lower et al. 1994). Bestätigt wurden ähnlich hohe Lautstärkepegel in aktuelleren Messungen durch Kennedy et al. (2013).

In der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2007) wurden aktuelle regulatorische Rahmenbedingungen für die Schallbelastung am Arbeitsplatz geschaffen. Die Verordnung legt einen oberen und unteren Auslösewert von 80 dB(A) bzw. 85 dB(A) über 8 Stunden fest sowie einen Expositionsgrenzwert von 87 dB(A) bei Verwendung und Berücksichtigung eines

Gehörschutzes. Übertragen auf die zuvor angeführte Schallsituation beim Motorradfahren wären somit aus Sicht des Arbeitsschutzes bei ausreichender Expositionsdauer bereits sowohl technische als auch organisatorische Schutzmaßnahmen notwendig. Vor diesem Hintergrund stellt sich somit die Frage: Wie stark wirkt sich die Lautstärkesituation beim Motorradfahren tatsächlich auf das menschliche Gehör aus?

Anhand einer streng gescreenten Kohorte von rund 240 Motorradfahrern zeigten McCombe et al. (1995), dass diese einen signifikant höheren Hörverlust aufwiesen als eine altersangepasste Kontrollgruppe. Die Arbeit liefert wichtige Evidenz, dass Motorradfahren allein ein signifikanter Einflussfaktor für mögliche permanente Hörschäden darstellt.

Eine wichtige Voraussetzung bei der Auswertung der Expositionsdaten ist dabei die Anwendung einer korrekten Messmethode zur Erfassung der Strömungsgeschwindigkeiten am Helm. Bisherige Feldstudien, welche bei realen Fahrversuchen durchgeführt wurden, stellten die gemessenen Gesamtpegel im Gehörgang lediglich in Korrelation zu der Tachogeschwindigkeit, der GPS-Geschwindigkeit oder Variationen der Motorrad- oder Helmkonfiguration dar, während der eigentlich interessante Expositionsparameter, die Luftgeschwindigkeit, auf dem Freifeld meist indirekt über die GPS-Geschwindigkeit hergeleitet wurde. Um aussagekräftige Ergebnisse unter Realbedingungen zu erhalten, ist die lokale Strömungsgeschwindigkeit am Helm unverzichtbar, da sie aufgrund von Rücken- und Gegenwind, Windschatten und Fahrzeugumströmungen stark von der Fahrgeschwindigkeit abweichen kann. Direkte Messungen der lokalen Strömungsgeschwindigkeiten wurden bislang, soweit ersichtlich, während der Fahrt nicht durchgeführt, woraus sich schließen lässt, dass der Zusammenhang zwischen der resultierenden Gesamtlautstärke im Gehörgang und der Anregung durch das aeroakustische Ereignis bislang nur approximiert beschrieben und dargestellt werden konnte. Um diese Lücke zu schließen, wurden in dieser Untersuchung im Freifeld Messungen auf einem Motorrad durchgeführt und parallel wurde der Schalldruckpegel im Gehörgang gemessen, während die Luftgeschwindigkeit mit einer Prandtlsonde aufgezeichnet wurde.

2. Methodik

2.1 Versuchsfahrzeug, Proband und Messstrecke

Durchgeführt wurden die Messungen auf dem Flugplatz in Meschede, der eine Landebahn von etwa 1 km Länge aufweist. Aufgrund fehlender Gebäude, Fahrzeuge oder Hügeln oder ähnlichen Strukturen war es möglich, mit geringem Risiko hohe und konstante Fahrgeschwindigkeiten bei Freifeldbedingungen zu vermessen.

Für die Versuche wurde ein serienmäßiges, unverkleidetes Motorrad des Typs Suzuki GSX-8S verwendet, um mögliche Einflüsse von Verkleidung und Scheibe auszuschließen. Lediglich eine Modifikation des Soziussitzes war notwendig, um eine Prandtlsonde zu montieren. Die korrekte Höhe wurde durch Vorversuche so eingestellt, dass sich diese stets innerhalb der freien Anströmung sowie außerhalb des Nachlaufes des Helms befand. Nur so konnten Einflüsse der Wirbelschleppe ausgeschlossen werden. Die modifizierte Maschine ist der Abbildung 1 (links) zu entnehmen.

Der Proband wurde vollständig mit Motorradschutzkleidung ausgestattet. Diese

umfasst Jacke, Hose, Stiefel, Handschuhe und einen Helm des Typs HJC RPHA 70. Modifikationen am Helm oder der Schutzkleidung wurden nicht vorgenommen. Um den Schalldruckpegel im Gehörgang erfassen zu können, wurde dem Probanden ein Gehörgangmikrofon des Herstellers Svantek mit der Bezeichnung SV 102+ in das linke Ohr gesetzt. Dieses wurde mit einem Kalibrator auf 94 dB re 20 µPa bei 1 kHz kalibriert. Als Datenformat wurden WAV-Dateien (48 kHz/16 Bit) gespeichert, welche im späteren Post-Processing gefiltert, geschnitten und bearbeitet wurden. Die Positionierung des Mikrofons ist der Abbildung 1 (rechts) zu entnehmen.

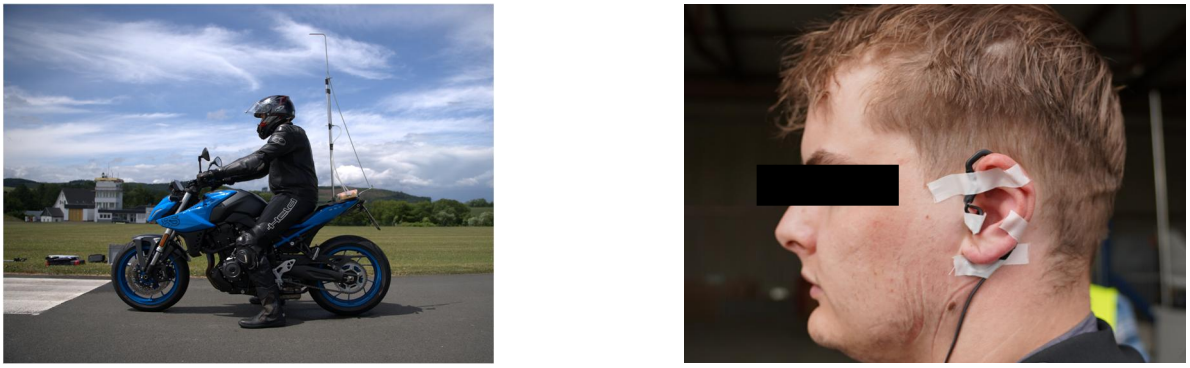


***Abbildung 1**: Modifiziertes Versuchsmotorrad (links) und Position des Gehörgangmikrofons (rechts).*

Die mithilfe der Prandtlsonde ermittelten Druckdifferenzen der Luft wurden mit einem Testo 440 dP geloggt. Die GPS-Daten wurden mit einem Android-Smartphone mit der Open-Source-App “GPS Logger” von “BasicAirData” gesammelt. Gefilmt wurde der Versuch mit einer GoPro Hero 7 Black auf einem Stativ am Rande der Fahrbahn. Bei Beginn der Fahrt wurde sowohl die Windrichtung mit einem Handanemometer und einer Windfahne als auch die Umgebungstemperatur mit einem Testo-Temperaturmessgerät geprüft. So sollte zum einen die Windrichtung validiert werden, zum anderen das Auftreten von Böen während der Messung ausgeschlossen werden. Gefahren wurde nur bei annähernd parallelem Verlauf der Windrichtung zur Fahrbahn. Die Temperatur konnte später für die Bestimmung der Luftgeschwindigkeit verwendet werden.

2.2 Messablauf

Die Fahrversuche begannen mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h, die dann iterativ um 10 km/h bis zu einer Endgeschwindigkeit von 150 km/h erhöht wurden. Die Sitzposition war dem Probanden freigestellt. Dieser sollte die Fahrposition in seinem Ermessen möglichst realitätsnah nachbilden.

Beschleunigt wurde vor jeder Messung aus dem Stand bis zum Erreichen der Zielgeschwindigkeit. Bei Erreichen der Messgeschwindigkeit wurde durch den Probanden eine Sprachmarke eingesprochen (bspw. „100 km/h Start“), was den Beginn des Auswerteintervalls der Messung kennzeichnete. Während der Messung wurde die Geschwindigkeit mit einer zulässigen Abweichung von 1 km/h gehalten. Das Ende der Messung wurde erneut mit einer Sprachmarke gekennzeichnet, bevor der Bremsvorgang eingeleitet wurde. Die Orientierung erfolgte an der Tachogeschwindigkeit; die tatsächlichen Fahrgeschwindigkeiten lagen im GPS-Log vor. Jede Geschwindigkeit wurde 6-mal vermessen (3-mal je Richtung der Fahrbahn).

3. Ergebnisse

3.1 Gehörgangschalldruckpegel in Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeit

In Abbildung 2 ist der im Gehörgang gemessene Schalldruckpegel über die Luftgeschwindigkeit dargestellt. Jeder Punkt repräsentiert hierbei das Mittel eines Messintervalls bei konstanter Geschwindigkeit. Durch Verbindung der Messpunkte mittels eines Polynoms 6. Grades lässt sich das näherungsweise monoton steigende Verhalten mit zunehmender Luftgeschwindigkeit erkennen.

Durch Filterung mithilfe der A- und C-Bewertung verändern sich die Lage der Kurve. Die C-Kurve liegt unterhalb der unbewerteten Schalldruckpegel, jedoch deutlich über den A-bewerteten Pegeln. Die Differenz beträgt etwa 15 dB und ist über den gesamten Geschwindigkeitsbereich nahezu konstant. Die starke Senkung der Pegel durch die A-Bewertung lässt einen hohen tieffrequenten Anteil im Signal vermuten.

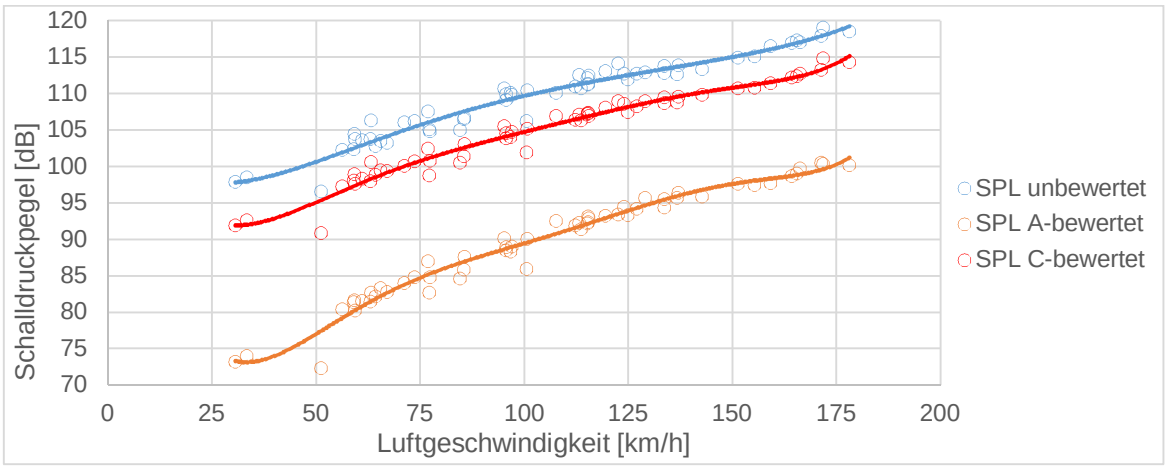


***Abbildung 2**: Gemittelter Sound Pressure Level (Schalldruckpegel) im Gehörgang bei unterschiedlichen Luftgeschwindigkeiten.*

3.2 Abweichung zwischen GPS-Geschwindigkeit und Luftgeschwindigkeit

Zur Visualisierung der Übereinstimmung zwischen der gemessenen GPS-Geschwindigkeit und der ermittelten Luftgeschwindigkeit wurden die beiden Messgrößen in Abbildung 3 gegenübergestellt.

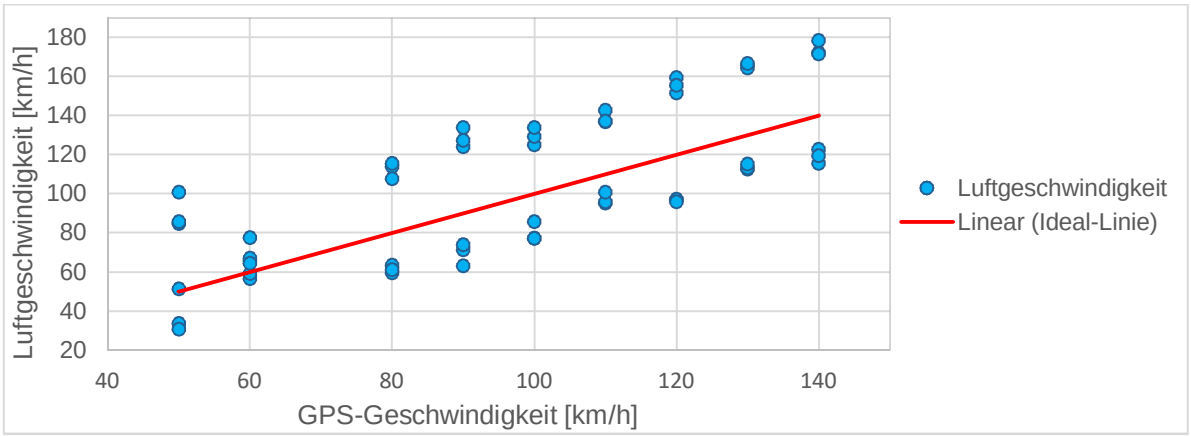


***Abbildung 3**: Abweichung der Luftgeschwindigkeit zur GPS-Geschwindigkeit.*

Die Abbildung zeigt auf der X-Achse die ideale GPS-Geschwindigkeit, auf der Y-Achse die gemessenen Luftgeschwindigkeiten. Die Winkelhalbierende dient als Idealreferenz und spiegelt eine genaue Überdeckung der Luftgeschwindigkeiten mit den GPS-Geschwindigkeiten wider. Die Messpunkte streuen weit um die Ideallinie herum. Ein konkreter Geschwindigkeitsbereich, in welchem die Streuung am größten oder kleinsten ist, kann nicht identifiziert werden. Bei nahezu jeder Fahrt weicht die tatsächliche Luftgeschwindigkeit von der GPS-Geschwindigkeit ab.

3.3 Vergleich der Prandtlsonden-Messdaten mit Literaturwerten nach Kennedy et al.

Um die Ergebnisse mit bisherigen Studien zu vergleichen, wurden Literaturdaten von Kennedy et al. (2013) herangezogen, die in Abbildung 4 mit den in dieser Untersuchung ermittelten Ergebnissen gegenübergestellt werden.

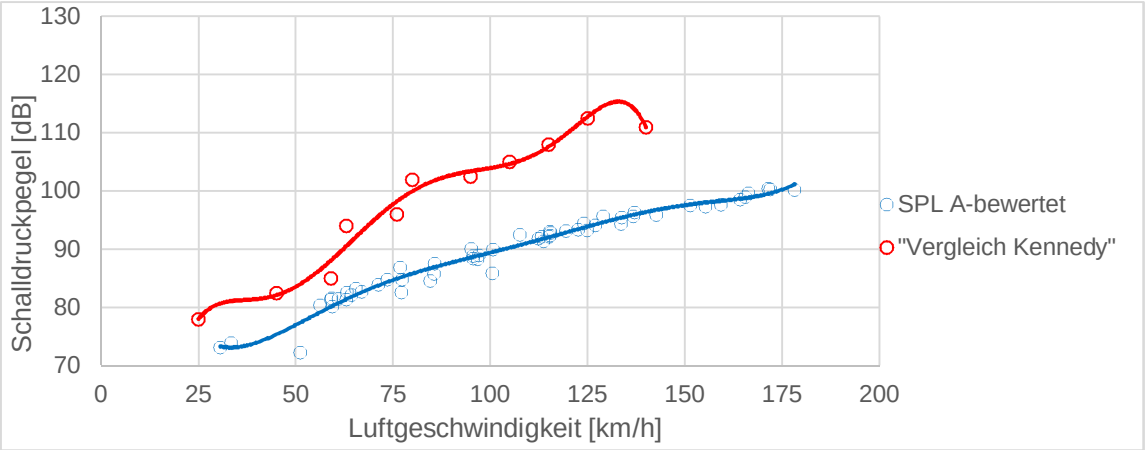


***Abbildung 4**: Prandtlsonden-Messdaten im Vergleich zu Messdaten nach Kennedy et al. (2013).*

Verglichen werden jeweils die A-bewerteten Kurven. Die beiden Kurven weichen sowohl vom Pegelniveau als auch vom Verlauf sichtlich voneinander ab. Bei gleicher Geschwindigkeit liegen die Pegel von Kennedy et al. deutlich über den mit der Prandtlsonde ermittelten Ergebnissen. Ebenfalls zu beobachten sind Abweichungen in der Steilheit der Kurven.

4. Diskussion

4.1 Relevanz der Messung der Luftgeschwindigkeit

Der Vergleich der GPS- mit der Luftgeschwindigkeit zeigt, dass die Verwendbarkeit der GPS-Geschwindigkeit für die Darstellung der Anströmgeschwindigkeit am Helm nur begrenzt geeignet ist. Aspekte wie Fahrzeugumgebung, atmosphärischer Wind etc. erzeugen bei den Messungen unvermeidbare Abweichungen. Die bisher in der Literatur implizierte Gleichsetzung der beiden Größen ist im Grunde nicht belastbar. Dies wird durch die angeführte Abbildung 3 deutlich. Die in dieser Untersuchung erhobenen Ergebnisse wurden bereits im Windkanal validiert und weisen eine sehr geringe Abweichung zu den Flugplatzmessungen auf. Unterstützt wird die These durch die Abweichungen gegenüber den Messergebnissen von Kennedy et al. (2013). In der Studie wurden zwar ebenfalls Windkanalversuche durchgeführt, jedoch wiesen auch diese in bestimmten Bereichen Abweichungen von ca. 6 dB(A) auf. Kennedy et

al. (2013) betonen allgemein, dass Windbedingungen, aber auch Motor und Umgebung einen großen Einfluss auf die Messergebnisse haben können. Die gezeigten Geschwindigkeitsunterschiede belegen, dass die aeroakustische Beurteilung nicht ausschließlich von der angenommenen GPS-Geschwindigkeit abhängen darf.

4.2 Bedeutung von A- und C-Bewertung für die Helmlärmanalyse

Die gleichzeitige Betrachtung unbewerteter, A- und C-bewerteter Pegel ist dahingehend wichtig, weil die A-Bewertung relevant für die Einordnung in bereits bestehende Untersuchungen und Normwerte ist. Die C-Bewertung spiegelt die tatsächliche energetische Last deutlich realistischer für das menschliche Gehör wider. Grund hierfür ist die Verschiebung des Hörempfindens des Menschen mit zunehmender Lautstärke im tiefen Frequenzbereich. Die Filter sind an die Phon-Linien (Gleichlautheitskurven) angelehnt. Mit zunehmender Lautstärke wirken sich tiefe Frequenzen sensibler auf das menschliche Gehör aus, was durch den C-Filter ansatzweise über eine geringere Dämpfung im niedrigen Frequenzbereich dargestellt wird. Dies ist wichtig, da andernfalls die tatsächliche Last unterschätzt wird.

4.3 Konsequenzen und Ausblick

Abschließend lässt sich feststellen, dass bereits ab einer Geschwindigkeit von ca. 60 km/h die Gehörgangspegel einen Level von 85 dB(A) überschreiten und somit bei ausreichend langer Exposition ohne ausreichende Lärmpausen ein Risiko für eine Gesundheitsgefährdung vorliegt, insbesondere, da 85 dB(A) den oberen Auslösewert widerspiegelt. Mit steigender Geschwindigkeit wird das 8-Stunden-Expositionsäquivalent, welches in der angeführten Lärmschutzverordnung herangezogen wird, bereits deutlich schneller erreicht, was bei Autobahngeschwindigkeiten bereits nach wenigen Minuten erfolgt.

Als weitere Erkenntnis wird festgestellt, dass eine präzise Beschreibung der Anströmgeschwindigkeiten am Helm sowie eine aussagekräftige Pegelbewertung, insbesondere im Hinblick auf die C-Bewertung, essenzielle Voraussetzungen sind, um Helme realitätsgetreu beurteilen zu können. Daraus ergibt sich eine klare Anforderung an die Entwicklung normativer Bewertungsansätze für tieffrequent dominierte Lärmszenarien.

5. Literatur

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (2007) Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV). BGBI. I:261.

Kennedy J, Adetifa O, Carley M, Holt N, Walker I (2011) Aeroacoustic sources of motorcycle helmet noise. J Acoust Soc Am 130(3):1164–1172. DOI: 10.1121/1.3621097.

Kennedy J, Carley M, Walker I, Holt N (2013) On-road and wind-tunnel measurement of motorcycle helmet noise. J Acoust Soc Am 134(3):2004–2010. DOI: 10.1121/1.4817913.

Lower MC, Hurst DW, Claughton AR, Thomas A (1994) Sources and levels of noise under motorcyclists' helmets. Proc I O A 16 Pt 2:319-325.

McCombe AW, Binnington J, Davis A, Spencer H (1995) Hearing loss and motorcyclists. J Laryngol Otol 109:599–604. DOI: 10.1017/S0022215100130828.

Methodik zur Bestimmung von Korrekturfaktoren für normierte Annäherungsgeschwindigkeiten an metallbearbeitenden Werkzeugmaschinen

Daniel GRÖLLICH, Christin MUSICK, Svetlana WÄHNERT, Martin SCHMAUDER

Professur für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Dresden
Marschnerstr. 39, D-01307 Dresden

Kurzfassung: Die MaschVO (EU) 2023/1230 und die Norm DIN EN ISO 13855:2025 erfordern die Einhaltung von Trennungsabständen zwischen berührungslos wirkenden Schutzeinrichtungen und Gefahrenbereichen, deren Berechnung anhand einer pauschalen Annäherungsgeschwindigkeit (1,6 m/s für Schreiten) erfolgt. Dieser Wert basiert auf idealisierten Bedingungen und vernachlässigt den Einfluss realer Zugangsszenarien im industriellen Kontext, was zu überdimensionierten Sicherheitsabständen und eingeschränkter Nutzung der Produktionsfläche führen kann. In diesem Paper wird ein methodisches Konzept für die Ermittlung statistisch fundierter Korrekturfaktoren zur situationsgerechten Bestimmung von Sicherheitsabständen vorgestellt. Übergeordnetes Ziel ist die Nutzbarmachung der Korrekturfaktoren für Normungszwecke und Planungstools.

Schlüsselwörter: Maschinensicherheit, DIN EN ISO 13855, Korrekturfaktoren, Annäherungsgeschwindigkeit, Zugangsbedingungen

1. Einleitung und Zielstellung

Der Einsatz von Maschinen am Arbeitsplatz birgt – sowohl durch das Vorhandensein als auch durch die Nutzung – eine Vielfalt an Gefährdungen. Insbesondere mechanische Faktoren bei der Verwendung von Maschinen können zu Verletzungen von Körperteilen führen. Die Maschinenverordnung (EU) 2023/1230 verpflichtet Hersteller, bei der bestimmungsgemäßen Verwendung einschließlich der vernünftigerweise vorhersehbaren Fehlanwendung sämtliche Gefährdungen zu minimieren. Im Rahmen einer Risikobeurteilung ist zunächst die inhärent sichere Konstruktion zu realisieren (DIN EN ISO 12100:2010). Können nicht alle Gefährdungen konstruktiv beseitigt werden, ist die Maschine oder das dazugehörige Produkt um trennende oder nichttrennende Schutzeinrichtungen zu ergänzen (Verordnung (EU) 2023/1230).

1.1 Berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen

Durch die fortschreitende Automatisierungstechnik gewinnen berührungslos wirkende Schutzeinrichtungen [BWS] zunehmend an Bedeutung (SICK AG, 2017). Im Vergleich zu trennenden Maßnahmen (Zäune, Barrieren, Kapselungen) erhöhen sie die Benutzerfreundlichkeit, weil sie schnellen Zugang zu gefährlichen Bereichen für Einricht-, Bestück- und Entnahmearbeiten ermöglichen. Typische BWS sind Lichtschranken, Lichtgitter und Lichtvorhänge, die bei Unterbrechung des Lichtstrahls eine Abschaltreaktion auslösen. Deren Wirksamkeit hängt maßgeblich von der Einhaltung des Trennungsabstandes S ab (DIN ISO 13855:2025).

1.2 Normative Bestimmung des Trennungsabstandes

Der Trennungsabstand S (vgl. Abbildung 1) wird nach DIN EN ISO 13855:2025 wie folgt definiert:

$$S = (K * T) + D_{DS} + Z$$

Dabei ist K die Annäherungsgeschwindigkeit des Körpers bzw. eines Körperteils (mm/s), T die Reaktionszeit des Gesamtsystems, D_{DS} der Erreichbarkeitsabstand in Zusammenhang mit einer nichttrennenden Schutzeinrichtung (mm) und Z ein anwendungsabhängiger Entfernungszuschlag (mm). Die Annäherungsgeschwindigkeit K wird für das Schreiten konstant mit 1,6 m/s angenommen (DIN ISO 13855:2025).

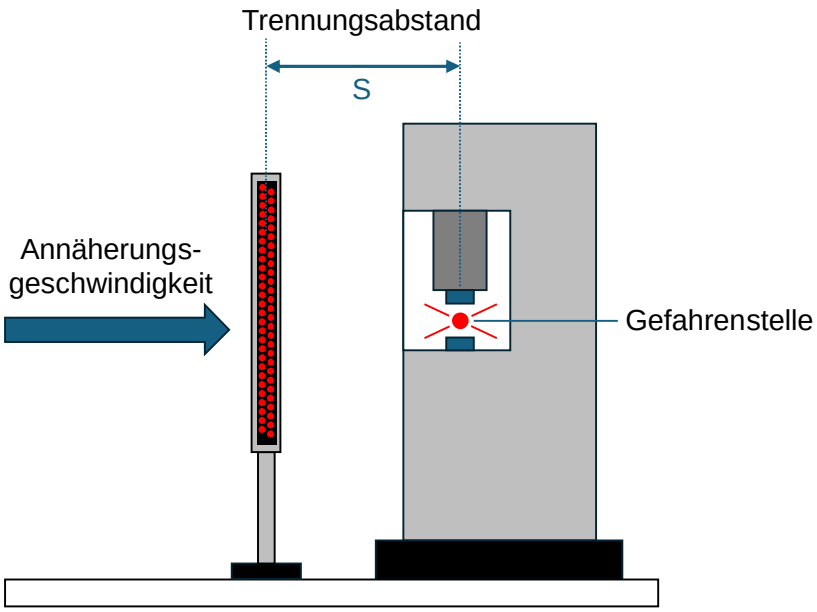


***Abbildung 1**: Trennungsabstand S vor Gefahrenstellen (eigene Darstellung).*

1.3 Problemstellung und Forschungsbedarf

Durch die Verwendung konstanter Annäherungsgeschwindigkeiten wird implizit ein idealisiertes Szenario angenommen. In der industriellen Praxis weichen die tatsächlichen Zugangsbedingungen häufig stark von diesem Idealzustand ab. Große Maschinen (z. B. Pressen) werden oft auf vorhandenen Fundamenten oder in bestehenden Gebäudestrukturen installiert, wodurch Treppen, Absätze und Bodenroste unvermeidlich werden. Solche baulichen Gegebenheiten reduzieren die effektive Annäherungsgeschwindigkeit der Maschinenbedienenden erheblich, während die normierten Sicherheitsabstände unverändert bleiben. Das Ergebnis ist eine systematische Überdimensionierung der Sicherheitsabstände, die keinen zusätzlichen Sicherheitsgewinn, jedoch einen unverhältnismäßigen Platzbedarf verursacht – ein kritischer Faktor bei knappen Hallenflächen und steigender Automatisierung (Kreil et al., 2019). Die Vereinfachung des K-Wertes wird durch Studien gestützt, die normale Gehgeschwindigkeiten bei Idealbedingungen ermittelten (Carey, 2005; Alrutz et al., 2012; Bosina & Weidmann, 2017). Es ist jedoch belegt, dass Zugangsbedingungen wie Treppen oder Absätze die mittlere Geschwindigkeit signifikant senken (Bosina & Weidmann, 2017). Aufgrund der Diskrepanz zwischen normierten Annäherungsgeschwindigkeiten und

realen Bedingungen besteht ein klarer Bedarf an Korrekturfaktoren für K. Ziel des Forschungsprojektes KofanoA ist es, diese Faktoren so zu ermitteln, dass sie die Reduktion der Geschwindigkeit aufgrund der jeweiligen Zugangsbedingungen abbilden und damit eine realitätsnahe Auslegung von Sicherheitsabständen ermöglichen, ohne die Sicherheit zu gefährden.

2. Methodisches Vorgehen

Die Untersuchung basiert auf den folgenden zentralen Hypothesen (vgl. Tabelle 1):

Tabelle 1: *Zu untersuchende Hypothesen im Forschungsvorhaben KofanoA.*

Nr.	Hypothese	Untersuchung
1	Die Basismessung bestätigt den Normwert von 1,6 m/s.	Plausibilitätsprüfung des normativen Ausgangswertes
2	Zugangsbedingungen wie Treppen und Hindernisse verringern die Annäherungsgeschwindigkeit.	Haupteinfluss physikalischer Barrieren
3	Die Verringerung der Geschwindigkeit ist proportional zur Komplexität des Zugangs (z.B. höhere Stufenzahl).	Dosis-Wirkungs-Zusammenhang
4	Rutschhemmende Materialien (Riffelblech) auf Stufen verringern die Geschwindigkeit zusätzlich.	Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit
5	Es kann kein signifikanter Unterschied zwischen ungeübten und qualifizierten Nutzern festgestellt werden.	Übertragbarkeit Labordaten auf Industrie

1.1 Probandenauswahl

Um eine hinreichende statistische Teststärke für die Forschungsfragen zu gewährleisten, wurden zwei unterschiedliche Stichproben definiert. Stichprobe 1 (n=82) setzt sich aus einem homogenen Kollektiv von gesunden, männlichen Probanden im Alter von 18-25 Jahren mit Normalgewicht (BMI 20-25) zusammen. Unter Berücksichtigung anthropometrischer Daten zielt die Auswahl auf maximale Annäherungsgeschwindigkeiten ab, um eine konservative Basis für die Korrekturfaktoren zu schaffen. Die Fallzahl wurde mittels A-priori-Poweranalyse ermittelt, um bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0.05$ mindestens kleine Effekte ($d > 0.3$) mit einer Teststärke von $1-\beta = 0,85$ abzusichern. Stichprobe 2 (n = 10) besteht aus erfahrenen Maschinenbedienern und dient der Plausibilitätsprüfung unter Praxisbedingungen. Auch hier wird ein homogenes Kollektiv angestrebt; im Falle von Heterogenität erfolgt eine differenzierte Auswertung der Ergebnisse.

1.2 Versuchsdesign

Insgesamt werden sieben Zugangsszenarien untersucht, die auf den Ergebnissen der Pilotstudie (Kreil et al., 2019) und der Metaanalyse (Bosina & Weidmann, 2017) basieren.

Zugangsszenario 1 dient als Basismessung. Zur Verifizierung werden die Grundgeschwindigkeiten der Probanden unter Idealbedingungen auf einer 10 m langen horizontalen Strecke bestimmt. In der Praxis werden konstruktionsbedingt oftmals Treppen vor Werkzeugmaschinen installiert, um diese nicht in das Fundament einlassen

zu müssen. Daher wird in Zugangsszenario 2 konkret der Einfluss einer 2-stufigen Treppe betrachtet. Treppenaufbau und Schrittlängen orientieren sich an Vorgaben der DIN EN ISO 14122-3, sowie der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A1.8 „Verkehrswege“. Zusätzlich wird in Zugangsszenario 3 der Einfluss von vier Stufen untersucht. Neben offiziellen Zugängen finden sich an Maschinen Bereiche, die zwar nicht für den Einstieg vorgesehen sind, aber dennoch ein Erreichen von Gefahrenstellen ermöglichen. Diese nicht bestimmungsgemäßen Öffnungen sind konstruktiv oft so verbaut, dass sie den Zutritt zwar erschweren, aber nicht gänzlich verhindern (u. a. höher gelegene Schrottklappen oder stufenähnliche Aufbauten bei Pressen) Daher müssen solche nicht bestimmungsgemäßen Zugangsmöglichkeiten gegen Missbrauch gesichert werden, u. a. mit BWS, die in einem geeigneten Sicherheitsabstand montiert werden. Um dieses in der Norm derzeit noch nicht ausreichend berücksichtigte Szenario näher zu untersuchen, wird in einem weiteren Versuchsaufbau ein einzelnes Hindernis mit einer Aufbauhöhe zwischen 300 und 400 mm betrachtet (Zugangsszenario 4). Weiterhin wird der Einfluss von rutschhemmenden Materialien auf die Annäherungsgeschwindigkeit untersucht. Hierzu werden die Zugangsszenarien 2 bis 4 unter Verwendung rutschhemmender Untergründe wiederholt (Zugangsszenarien 5, 6, 7).

Die durchschnittlichen Annäherungsgeschwindigkeiten werden für alle 7 Zugangsszenarien durch Mittelwertbildung aus fünf Wiederholungsmessungen bestimmt. Die Messpunkte befinden sich an den Stellen, an denen typischerweise die BWS angebracht sind (vgl. Abbildung 2).

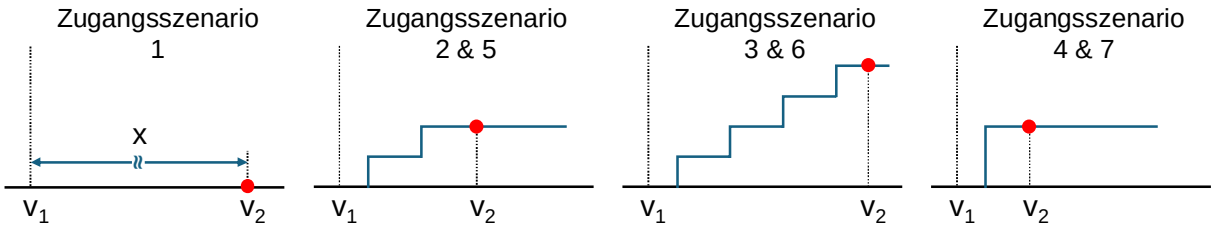


***Abbildung 2**: Messpunkte (rot) für die Zugangsszenarien 1 bis 7, (x = 10 m). Die Messpunktlagen entsprechen der typischen Anbringung der BWS.*

Weiterhin werden zwei industrietypische Annäherungsfälle unterschieden: Messung 1 simuliert die Annäherung aus dem Stand (Start direkt vor dem Hindernis, v_1 = 0 km/h), wie sie für stehende Tätigkeiten an Werkzeugmaschinen typisch ist. Messung 2 bildet die Annäherung aus der Bewegung ab. Hierbei wird ein Anlaufweg von 3 m genutzt, was laut Vorversuchen (Kreil et al., 2019) ausreicht, um eine konstante Gehgeschwindigkeit zu erreichen.

2.3 Messtechnik

Als primäre abhängige Variable dient die Veränderung der Annäherungs- bzw. Schreitgeschwindigkeit. Diese wird über zwei Systeme erfasst (Abbildung 3): einem Reflexlichtschrankensystem (wk AD 135 USB) zur präzisen Streckenzeitmessung und einem Inertialsensormesssystem (Xsens MVN Awinda) zur dreidimensionalen Erfassung von Körperteilgeschwindigkeiten und Beschleunigungsdaten.

Abbildung 3: *verwendete Messtechnik (Li.: XSens MVN Awinda Biomech. Re.: Reflexlicchtschrankensystem wk AD 1 135 USB, Fa. Wilhelm Köster - Ingenieurbüro für Zeitmessung).*

Die zugehörige Software Xsens MVN Analyze ermöglicht die detaillierte 3D-Bewegungsverfolgung und Datenverarbeitung (Schepers et al., 2018). Die Schreitgeschwindigkeit wird dabei über den Beckensensor am Körperschwerpunkt (KSP) aufgezeichnet, da dieser im Vergleich zu den Extremitäten eine vergleichsweise konstante und ruhige Trajektorie aufweist.

3. Datenauswertungsprinzip

Jeder Proband durchläuft in teilrandomisierter Reihenfolge die sieben Zugangsszenarien. Die durchschnittlichen Annäherungsgeschwindigkeiten werden durch Mittelwertbildung aus fünf Wiederholungsmessungen pro Zugangsszenario und Proband bestimmt. Die gesamte Datenerfassung basiert auf einem Gesamtdatensatz von mindestens 83 * 70 = 5810 Datenpunkten. Bei Bedarf können zusätzliche Messdaten der übrigen Sensoren während und nach der eigentlichen Aufzeichnung ausgewertet werden. Zugangsszenario 1 dient als Basismessung zur Erfassung der individuellen, unbeeinflussten Gehgeschwindigkeit. Die übrigen Szenarien (Kombinationen aus Treppen/Hindernissen mit und ohne Rutschhemmung) werden relativ zur Basismessung analysiert. Die Normalisierung der Daten erfolgt über die Bildung eines Quotienten:

$$Q_{Szenario} = \frac{Gehgeschwindigkeit_{Szenario\ i}}{Gehgeschwindigkeit_{Szenario\ 1}}$$

Der Quotient $Q_{Szenario}$ quantifiziert die relative Geschwindigkeitsänderung zur individuellen Basismessung. Die induktive Analyse erfolgt mittels Einstichproben-t-Tests, um signifikante Abweichungen vom Referenzwert 1 zu prüfen. Ergänzend werden Konfidenzintervalle berechnet, um die Schätzunsicherheit des Populationsparameters zu quantifizieren. Vorab werden die Daten auf Normalverteilung und Varianzhomogenität geprüft; bei Verletzung dieser Voraussetzungen werden robuste Verfahren (z. B. Welch-Test) angewandt. Die Auswertung erfolgt zudem differenziert nach den Annäherungsfällen (aus dem Stand vs. mit Anlauf) gemäß gängiger Testmethodik (Bortz & Schuster, 2010; Montgomery et al., 2011).

4. Prognostizierte Ergebnisse

Das primäre Ziel der statistischen Auswertung ist die Ableitung von Korrekturfaktoren für den Konstruktionsprozess. Diese quantifizieren die prozentuale Verringerung der normativen Annäherungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom jeweiligen Zugangsszenario (z. B. bei Integration von Treppen oder Einzelhindernissen).

Die Ergebnisse bilden die Basis für einen datenbankbasierten Algorithmus zur präzisen Festlegung von Sicherheitsabständen. Durch die Integration dieser Erkenntnisse in den Planungs- und Konstruktionsprozess wird eine flexiblere Gestaltung des Maschinenlayouts ermöglicht. Ziel ist eine optimierte Balance zwischen der geforderten Personensicherheit und der Wirtschaftlichkeit von Fertigungsanlagen. Darüber hinaus dienen die gewonnenen Daten als Grundlage für Handlungsempfehlungen und weiterführende Forschungsarbeiten.

5. Literatur

Alrutz D, Bachmann C, Rudert J, Angenendt W, Blase A, Fohlmeister F, Häckelmann P (2012) Verbesserung der Bedingungen für Fußgänger an Lichtsignalanlagen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen V, Verkehrstechnik: Heft V 217.

Bosina E, Weidmann U (2017) Estimating pedestrian speed using aggregated literature data. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 468: 1-29. https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.09.044

Bortz J, Schuster C (2010) *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7. Aufl.). *Springer-Lehrbuch*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12770-0

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (2022) *ASR A1.8 Verkehrswege. Technische Regeln für Arbeitsstätten*. Gemeinsames Ministerialblatt (GMBl), Nr. 9–11, S. 214. (Zuletzt geändert Juni 2024).

Carey N (2005) Establishing Pedestrian Walking Speeds. Portland State University. ITE Student Chapter.

DIN EN ISO 13855:2025-10 (2025) Sicherheit von Maschinen - Anordnung von Schutzeinrichtungen im Hinblick auf Annäherung des menschlichen Körpers (ISO 13855:2024); Deutsche Fassung EN ISO 13855:2024. DIN Media GmbH. Berlin. https://dx.doi.org/10.31030/3590939

DIN EN ISO 12100:2011-03 (2011) Sicherheit von Maschinen - Allgemeine Gestaltungsleitsätze - Risikobeurteilung und Risikominderung (ISO 12100:2010); Deutsche Fassung EN ISO 12100:2010. DIN Media GmbH. Berlin. https://dx.doi.org/10.31030/1634159

DIN EN ISO 14122-3:2016-10 (2016) Sicherheit von Maschinen - Ortsfeste Zugänge zu maschinellen Anlagen - Teil 3: Treppen, Treppenleitern und Geländer (ISO 14122-3:2016); Deutsche Fassung EN ISO 14122-3:2016. DIN Media GmbH. Berlin. https://dx.doi.org/10.31030/2359493

Kreil C, Schmauder M, Klöber K (2019) Variabilität der Annäherungsgeschwindigkeiten des Menschen an Gefahrenstellen unter Berücksichtigung der Zugangsbedingungen. Sicher ist sicher, 2/2019, 74-78. https://doi.org/10.37307/j.2199-7349.2019.02.07

Montgomery DC, Runger GC, Hubele NF (2011) Engineering statistics (Fifth edition). John Wiley & Sons, Inc.

Schepers M, Giuberti M, Bellusci G (2018) Xsens MVN: Consistent Tracking of Human Motion Using Inertial Sensing. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22099.07205

SICK AG (2017) Leitfaden Sichere Maschinen: In sechs Schritten zur sicheren Maschine. https://cdn.sick.com/media/docs/7/77/677/Special_information_Guide_for_Safe_Machinery_de_IM0014677.PDF

Verordnung (EU) 2023/1230 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Juni 2023 über Maschinen und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates und der Richtlinie 73/361/EWG des Rates. ABl. L 165 vom 29.06.2023.

Danksagung: Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projektnummer 545611846.

Erläuterungen zu den Empfehlungen des Ausschusses für Arbeitsstätten zur Beurteilung von Hitze und Kälte an Arbeitsplätzen im Freien

Peter BRÖDE[1], Birgit PIEPER[2], Runa T. HELLWIG[3]

[1] Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfADo)
Ardeystraße 67, D-44139 Dortmund
[2] Berufsgenossenschaft Holz und Metall, Semerteichstraße 98, D-44263 Dortmund
[3] Fachgebiet Bauphysik, Fakultät VI Planen Bauen Umwelt
Technische Universität Berlin, Gustav-Meyer-Allee 25, D-13355 Berlin

Kurzfassung: Mit dem Klimawandel zunehmend auftretende extreme Wetterbedingungen stellen neue Anforderungen an die Beurteilung von Gefährdungen, insbesondere bei Arbeiten im Freien. Die kürzlich veröffentlichte Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A5.1 "Arbeitsplätze in nicht allseits umschlossenen Arbeitsstätten und Arbeitsplätze im Freien" behandelt die Beurteilung von Gefährdungen durch UV-Strahlung, Niederschlag, Windkräfte sowie Gewitter und Blitzschlag. Analog strukturierte Texte zu den Gefährdungen durch Hitze und Kälte erhielten lediglich Empfehlungsstaus, da dort die Beurteilung auf neuartigen, noch nicht hinreichend praxiserprobten vereinfachten Verfahren beruht. Dieser Beitrag erläutert die Details dieser vereinfachten Verfahren mit dem Ziel, die Umsetzung der Empfehlungen in der betrieblichen Praxis zu erleichtern, um so zur langfristigen Integration der Beurteilung der Gefährdungen durch Hitze und Kälte in die ASR A5.1 nach erfolgreicher Praxiserprobung beizutragen.

Schlüsselwörter: Klimawandel, Hitze, Kälte, Gefährdungsbeurteilung, Regel für Arbeitsstätten, Arbeit im Freien

1. Einleitung und Problemstellung

1.1 Hintergrund

Ausgangspunkt menschengerechter Arbeitsgestaltung sind sichere Arbeitsplätze ohne Gesundheitsgefährdung. Als entsprechende Anforderung an nicht allseits umschlossene Arbeitsstätten und an Arbeitsplätze im Freien formuliert Anhang Nr. 5.1 der Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV 2004), dass sie von den Beschäftigten bei jeder Witterung sicher und ohne Gesundheitsgefährdung erreicht, benutzt und wieder verlassen werden können.

Diese und weitere Überlegungen unter besonderer Berücksichtigung der mit dem Klimawandel einhergehenden Zunahme extremer Wetterbedingungen (Gabriel & Bux 2024) führten zur Gründung einer Projektgruppe des Ausschusses für Arbeitsstätten (ASTA), deren fast fünfjährige Arbeit in die Veröffentlichung der Technischen Regel für Arbeitsstätten ASR A5.1 "Arbeitsplätze in nicht allseits umschlossenen Arbeitsstätten und Arbeitsplätze im Freien" mündete (Wilhelm 2025).

Zeitgleich mit dem ASR–Text (ASTA 2025a), der die Beurteilung und Maßnahmen zu Gefährdungen durch UV-Strahlung, Niederschlag, Windkräfte sowie Gewitter und

Blitzschlag behandelt, wurden ähnlich strukturierte Empfehlungen zu den Gefährdungen durch Hitze (ASTA 2025b) und Kälte (ASTA 2025c) veröffentlicht.

1.2 Beurteilungsmaßstäbe für Gefährdungen durch Hitze und Kälte

Da Wirkungen von Hitze und Kälte multivariat durch das Zusammenspiel der Klimagrößen Lufttemperatur, Wind, Luftfeuchte, Sonneneinstrahlung mit den personenbezogenen Faktoren Arbeitsschwere und Bekleidung zu beschreiben sind, werden gemeinhin Klimasummenmaße als Beurteilungsmaßstab empfohlen (Glitz et al. 2022; WHO 2025). Dementsprechend nannte auch die Projektskizze zur ASR A5.1 international etablierte Verfahren wie die erforderliche Bekleidungsisolation IREQ (DIN EN ISO 11079 2008) bei Kälte und vorhergesagte Wärmebeanspruchung PHS (DIN EN ISO 7933 2024) oder den WBGT-Index (wet bulb globe temperature) (DIN EN ISO 7243 2017) bei Hitze sowie den für Kälte und Hitze einsetzbaren Universal Thermal Climate Index UTCI (Bröde & Fiala 2017; Bröde et al. 2013; Bröde & Kampmann 2010; Kampmann & Bröde 2020; Kampmann et al. 2009; WHO 2025).

Die Anwendung dieser etablierten Verfahren erfordert vom Nutzer die Ermittlung der erforderlichen Eingabedaten, was oft mit einem nicht unerheblichen Messaufwand verbunden ist. Daher wurden bereits zu Beginn der Beratungen innerhalb der Projektgruppe Bedenken an der Praktikabilität standardisierter Klimasummenmaße zur Beurteilung von Klimawirkungen im Rahmer der ASR geäußert und der Bedarf nach alternativen, vereinfachten Verfahren zur Beurteilung der Gefährdungen durch Hitze und Kälte formuliert.

Demzufolge enthalten die ursprünglich in den ASR-Entwurf eingebetteten Empfehlungstexte einfach umsetzbare, so bisher nicht für Hitze und Kälte formulierte Beurteilungsverfahren, die neben der Lufttemperatur auch weitere wesentliche Einflüsse von Wind (Kälte), Sonneneinstrahlung und Luftfeuchte (Hitze) sowie Arbeitsschwere und Bekleidung berücksichtigen. Die fehlende Praxiserprobung der neuartigen vereinfachten Verfahren war ausschlaggebend für die Ausgliederung der Einflüsse von Hitze und Kälte aus dem ASR-Text und die separate Veröffentlichung als Empfehlung, die nicht die rechtliche Vermutungswirkung einer ASR gemäß § 3a Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV 2004) entfaltet.

1.3 Zielsetzung

Dieser Beitrag, dessen Autorenteam als Unterarbeitsgruppe "Hitze und Kälte" federführend an der Formulierung der im Empfehlungstext beschriebenen vereinfachten Beurteilungsverfahren und beispielhaft empfohlenen Maßnahmen mitwirkte, erläutert diese Verfahren und beleuchtet sie zusammen mit den empfohlenen Maßnahmen vor dem Hintergrund weiterer nationaler und internationaler Regelungen und Leitlinien sowie kürzlich erschienener Berichte von WHO und ILO.

Dies geschieht mit dem Ziel, die Umsetzung der Empfehlungen am Arbeitsplatz zu erleichtern, sodass langfristig die Verfahren zur Beurteilung der Gefährdungen durch Hitze und Kälte nach erfolgreicher Praxiserprobung Eingang in die ASR A5.1 finden können.

2. Vereinfachte Verfahren für Gefährdungen durch Kälte und Hitze

2.1 Beurteilungsmaßstab für Kälte

Abgeleitet aus vergleichenden Untersuchungen der etablierten Klimasummenmaße IREQ und UTCI (Bröde & Kampmann 2010) erfordert die Anwendung des vereinfachten Verfahrens bei Kälte (ASTA 2025c) lediglich Informationen zu Lufttemperatur und Windstärke. Dabei wird vorausgesetzt, dass Bekleidung und Arbeitsschwere so den Witterungsbedingungen angepasst sind, dass eine Durchfeuchtung der Kleidung durch Niederschlag oder Schweißansammlung vermieden wird. Ausgehend von der Lufttemperatur, die für Arbeitsplätze im Freien den Angaben einer Wetter-App entnommen werden kann, wird eine 3-stufige Einteilung der Kältebelastung vorgenommen.

In Stufe 1 sind bei Temperaturen von +5 °C bis -5 °C normale Tätigkeiten möglich, wobei auf das Wettergeschehen, insbesondere die Windstärke geachtet und der Einsatz von Wetterschutzkleidung erwogen werden soll. In Stufe 2 bei Temperaturen von -5 °C bis -20 °C sind mit trockener, angepasster Bekleidung normale Tätigkeiten über einen begrenzten Zeitraum von maximal 2 Stunden möglich, wonach mindestens 25 Minuten Aufwärmzeit vorzusehen sind, in der Tätigkeiten ohne Kältebelastung möglich sind. Stufe 3 bei Temperaturen unterhalb von -20 °C begrenzt die Kälteexposition mit Kälteschutzkleidung auf 1 Stunde mit mindestens 60 Minuten Aufwärmzeit.

Bei schwachem Wind der mit einer Geschwindigkeit ab 12 km/h dünne Zweige bewegt, werden die Stufen 1 und 2 wie die nächsthöhere Kategorie behandelt. Bei starkem Wind mit einer Geschwindigkeit ab 39 km/h, bei dem starke Äste schwanken und z.B. Regenschirme nur schwer zu halten sind, ist Stufe 1 wie Stufe 3 zu behandeln und zusätzlich in Stufe 3 die maximale Expositionszeit auf 30 Minuten zu verkürzen.

2.2 Beurteilungsmaßstab für Hitze

Durch Hitze verursachte Gesundheitsstörungen gelten bei entsprechender Planung als grundsätzlich vermeidbar (Glitz et al. 2022; OSHA 2024), sodass der Aufstellung betrieblicher Hitzeschutzpläne eine erhebliche vorbeugende Wirkung zukommt (BG BAU 2024), was die Empfehlung entsprechend betont (ASTA 2025b).

Im Vergleich zur lediglich auf der Lufttemperatur und der Windstärke beruhenden Beurteilung der Gefährdung durch Kälte berücksichtigt das vereinfachte Verfahren zur Beurteilung von Hitze zusätzlich die bekannten Einflüsse der Sonneneinstrahlung (Bröde & Kampmann 2010), Luftfeuchte (Kampmann et al. 2009), Bekleidung (Bröde & Fiala 2017) und die die körpereigene Wärmeproduktion bestimmende Arbeitsschwere (Bröde et al. 2013) durch die Bestimmung einer Beurteilungstemperatur, die aus der Lufttemperatur und additiver Korrekturwerte für die weiteren Einflüsse berechnet wird (ASTA 2025b).

Ähnlich wie bei Kälte wird die Beurteilungstemperatur in Stufen eingeteilt, wobei in Stufe 1 bei (Luft-)Temperaturen bis 26 °C Tätigkeiten uneingeschränkt möglich sind, der betriebliche Hitzeschutzplan jedoch verfügbar sein soll. In Stufe 2 bei Beurteilungstemperaturen über 26 °C bis 30 °C sollen technische Maßnahmen zur Verringerung der Belastung (z.B. durch Verschattung) ergriffen, geeignete Getränke bereitgestellt und eine selbstständige Anpassung von Arbeitsschwere und -tempo sowie regelmäßige Flüssigkeitsaufnahme ermöglicht werden. Bei Temperaturen über 30 °C bis 35 °C sieht Stufe 3 zusätzliche Maßnahmen zur Entwärmung vor, ggf. durch

Unterbrechung der Tätigkeit. Stufe 4 für Beurteilungstemperaturen über 35 °C ist zusätzlich wie Hitzearbeit zu betrachten (BG Holz und Metall 2013).

Die Berechnung der Beurteilungstemperatur und die ggf. daraus folgende Ergreifung geeigneter Maßnahmen sind nicht erforderlich, solange die Lufttemperatur 26 °C nicht übersteigt oder die Expositionszeit in jeder Stunde weniger als 15 Minuten beträgt. Auf der anderen Seite sind beim Auftreten einer akuten Hitzeerkrankung unabhängig von der Höhe der Luft- oder Beurteilungstemperatur die Tätigkeit zu unterbrechen und die Anwendbarkeit des Beurteilungsmaßstabs sowie die Wirksamkeit getroffener Maßnahmen zu prüfen.

3. Fazit und Ausblick

Die vereinfachten Verfahren der Empfehlungen zur Beurteilung der Gefährdungen durch Kälte und Hitze (ASTA 2025b,c) liefern Beurteilungsmaßstäbe ohne aufwändige Messanforderungen, die auf arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen basieren. Sie fügen sich in bestehende Regelungen ein, wie die mit der ASR A3.5 (ASTA 2022) übereinstimmende Auslöseschwelle von 26 °C für Hitzebelastungen zeigt, die übrigens auch gut mit dem ‚initial heat trigger' von 80 °F für den Heat Index in einem aktuellen US Amerikanischen Entwurf übereinstimmt, was 26,7 °C Lufttemperatur bei normaler Luftfeuchte entspricht (OSHA 2024). Zusätzlich folgen die Empfehlungen mit ihrem besonderen Fokus auf eine vorbeugende Planung (z.B. Hitzeschutzplan) international propagierten Richtlinien (WHO 2025; Flouris et al. 2024).

Die Empfehlungen werden sich jedoch in der Praxis noch bewähren müssen. Es ist unsere Hoffnung, dass sich diese Verfahren im betrieblichen Einsatz als zuverlässig und wirksam erweisen, sodass sie, wie ursprünglich geplant, Teil der ASR A5.1 werden können. Dies würde z.B. die umfassende Betrachtung sowohl des Sommer- als auch Winterfalls mit gleichzeitig zu berücksichtigen Einflüssen, wie z.B. UV-Strahlung und Hitze bzw. Kälte und Niederschlag erleichtern.

4. Literatur

ArbStättV (2004) "Arbeitsstättenverordnung vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179), die zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 27. März 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 109) geändert worden ist". https://www.gesetze-im-internet.de/arbst_ttv_2004/, letzter Zugriff 2025-12-21.

ASTA (2022) Technische Regeln für Arbeitsstätten. ASR A3.5 Raumtemperaturen (GMBl 2022, S. 198). Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA), https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A3-5.pdf?__blob=publicationFile&v=6, letzter Zugriff 2025-12-21.

ASTA (2025a) Technische Regeln für Arbeitsstätten. ASR A5.1 "Arbeitsplätze in nicht allseits umschlossenen Arbeitsstätten und Arbeitsplätze im Freien", GMBl 2025, S. 498 (v. 28.08.2025). Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA), https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/ASR/pdf/ASR-A5-1.pdf?__blob=publicationFile&v=4, letzter Zugriff 2025-12-21.

ASTA (2025b) Empfehlung des Ausschusses für Arbeitsstätten (ASTA) - Beurteilung der Gefährdungen durch Hitze und Maßnahmen an Arbeitsplätzen in nicht allseits umschlossenen Arbeitsstätten und an Arbeitsplätzen im Freien (August 2025). Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA), https://www.baua.de/DE/Die-BAuA/Aufgaben/Geschaeftsfuehrung-von-Ausschuessen/ASTA/pdf/Hitze.pdf?__blob=publicationFile&v=3, letzter Zugriff 2025-12-21.

ASTA (2025c) Empfehlung des Ausschusses für Arbeitsstätten (ASTA) - Beurteilung der Gefährdungen durch Kälte und Maßnahmen an Arbeitsplätzen in nicht allseits umschlossenen Arbeitsstätten und an Arbeitsplätzen im Freien (August 2025). Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA), https://www.baua.de/DE/Die-BAuA/Aufgaben/Geschaeftsfuehrung-von-Ausschuessen/ASTA/pdf/Kaelte.pdf?__blob=publicationFile&v=3, letzter Zugriff 2025-12-21.

BG BAU (2024) Hitzeaktionsplan Outdoor-Baustellen: https://www.bgbau.de/service/angebote/medien-center-suche/medium/hitzeaktionsplan-outdoor-baustellen, letzter Zugriff 2025-12-21

Bröde P, Fiala D (2017) Klimawandel und Ausführbarkeit körperlicher Arbeit im Freien – Bewertungsverfahren im Vergleich. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg) 63. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. FHNW Brugg-Windisch, Schweiz: GfA-Press:1-6.

Bröde P, Fiala D, Kampmann B (2013) Erweiterung des Klimaindex UTCI zur Bewertung arbeitsbedingter Hitze- und Kältebelastungen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) 59. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Krefeld: GfA-Press:249-252.

Bröde P, Kampmann B (2010) Vergleich des Klimaindex UTCI mit international standardisierten Verfahren zur Bewertung von Hitze- und Kältebelastungen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) 56. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Darmstadt: GfA-Press:667-670.

BG Holz und Metall (2013) DGUV Information 213-002 Hitzearbeit; erkennen - beurteilen – schützen. https://publikationen.dguv.de/regelwerk/dguv-informationen/340/hitzearbeit-erkennen-beurteilen-schuetzen, letzter Zugriff 2025-12-21

DIN EN ISO 7243 (2017) Ergonomie der thermischen Umgebung - Ermittlung der Wärmebelastung durch den WBGT-Index (wet bulb globe temperature) (ISO 7243:2017); Deutsche Fassung EN ISO 7243:2017. Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN ISO 7933 (2024) Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der Wärmebelastung durch Berechnung der vorhergesagten Wärmebeanspruchung (ISO 7933:2023); Deutsche Fassung EN ISO 7933:2023. Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN ISO 11079 (2008) Ergonomie der thermischen Umgebung - Bestimmung und Interpretation der Kältebelastung bei Verwendung der erforderlichen Isolation der Bekleidung (IREQ) und lokalen Kühlwirkungen. Berlin: Beuth Verlag.

Flouris A, Azzi M, Graczyk H, Nafradi B, Scott N (2024) Heat at Work: Implications for Safety and Health. A Global Review of the Science, Policy and Practice. Geneva: ILO-International Labour Organization, https://www.ilo.org/publications/heat-work-implications-safety-and-health, letzter Zugriff 2025-12-21.

Gabriel K, Bux K (2024) Hitze als Risiko am Arbeitsplatz. In: Schneider S (Ed) Gesundheitsrisiko Klimawandel. Bern: Hogrefe Verlag, 291-300.

Glitz KJ, Bux K, Catrein B, Dietl P, Engelmann B, Gebhardt H, Groos S, Kampmann B, Kluth K, Leyk D, Zander P, Klußmann A (2022) AWMF-S2k-Leitlinie Arbeiten unter klimatischen Belastungen. 1. Auflage, Version 1 vom 10.06.2022. Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V., https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/002-045.html, letzter Zugriff 2025-12-21.

Kampmann B, Bröde P (2020) Minderung physiologischer Hitzebeanspruchung durch Ventilation – Laborexperimente im Vergleich zur UTCI-Bewertung. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) 66. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft–Digitaler Wandel, digitale Arbeit, digitaler Mensch? TU Berlin: GfA-Press:Beitrag A.14.14:11-16.

Kampmann B, Bröde P, Fiala D, Ilmarinen R, Havenith G, Jendritzky G (2009) Der Klimaindex UTCI – Validierung der Vorhersagen eines thermophysiologischen Simulationsmodells der menschlichen Beanspruchung als Funktion von Hitze und Feuchte. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) 55. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press:709-712.

OSHA (2024) Heat Injury and Illness Prevention in Outdoor and Indoor Work Settings. Proposed Rule Docket No. OSHA-2021-0009. Washington, D.C.: Occupational Safety and Health Administration, https://www.federalregister.gov/documents/2024/08/30/2024-14824/heat-injury-and-illness-prevention-in-outdoor-and-indoor-work-settings, letzter Zugriff 2025-12-21.

WHO (2025) Climate change and workplace heat stress: technical report and guidance. Geneva: World Health Organization and World Meteorological Organization, https://library.wmo.int/idurl/4/69616, letzter Zugriff 2025-12-21.

Wilhelm H (2025) Arbeitsschutz bei Arbeitsplätzen in nicht allseits umschlossenen Arbeitsstätten und bei Arbeitsplätzen im Freien. ASU 60:578-582.

Danksagung: Das Autorenteam bedankt sich für die inspirierende Zusammenarbeit innerhalb der ASTA–Projektgruppe "Arbeitsplätze in nicht allseits umschlossenen Arbeitsstätten und Arbeitsplätze im Freien" und für die Unterstützung durch ASTA–Geschäftsstelle und –Koordinierungskreis.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Health und Safety als integraler Ansatz für moderne Arbeitsumgebungen in der Recyclingbranche

Ulrike Pfannenschmidt

Metalogie GmbH, Im Schleeke 50, D-38642 Goslar

Kurzfassung: In der Recyclingindustrie sind HSE-Vorschriften (Health, Safety, Environment) oft fragmentiert und schwer zugänglich. Die Plattform HSE-Hub soll die Verfügbarkeit der benötigten Informationen erhöhen, indem sie Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltdaten aus verschiedenen Systemen (wie z.B. ERP, HR) direkt in Arbeitsprozesse integriert. Ziel ist eine verständliche, kontextbezogene Bereitstellung ohne Medienbrüche. Das Forschungsprojekt KREIS definiert die technischen und organisatorischen Anforderungen. Der HSE-Hub unterstützt gesetzliche Vorgaben, erhöht Arbeits- und Umweltsicherheit, berücksichtigt Datenschutz und Mitbe-stimmung und fördert transparente Prozesse. Rückmeldungen aus der Praxis fließen ein und bilden die Basis für zukünftige KI-Analysen.

Schlüsselwörter: HSE-Hub, Arbeitssicherheit, Recyclingindustrie, Safety II, Smart Work Design, Digitale Prozessintegration

1. Einleitung

Die Gewährleistung von Sicherheit, Gesundheit und Umweltschutz (HSE) ist in Unternehmen breit geregelt, die zugrunde liegenden Informationen liegen jedoch häufig in fragmentierten Inseln vor. Papierbasierte Abläufe, Medienbrüche und uneinheitliche Daten erschweren die kontextnahe Bereitstellung entscheidungsrelevanter Hinweise, besonders dort, wo Gefährdungen situativ auftreten können und schnelle, belastbare Entscheidungen nötig sind. In der Kreislaufwirtschaft, etwa beim Metall- oder Elektrorecycling, treffen heterogene Materialströme mit teilweise unbekannten Gefahrenpotentialen für die Mitarbeitenden auf daraus resultierende, stark variierende Prozessbedingungen. Allgemeine Sicherheitsregeln reichen hier oft nicht aus; wirksam wird der Gesundheits- und Umweltschutz oft erst, wenn relevante Informationen im konkreten Arbeitsschritt und in verständlicher Form vorliegen.

Vor diesem Hintergrund wurde der HSE-Hub als digitale, prozessbegleitende Middleware konzipiert. Die Plattform soll Daten aus bestehenden HSE-Systemen, ERP-Lösungen und weiteren Quellen mit operativen Routinen in Laboren und Produktionsanlagen verknüpfen. Vorgaben für die Mitarbeitenden sollen verständlich, kontextbezogen und ohne Medieninkonsistenzen bereitgestellt werden, Nachweise revisionssicher dokumentiert und Rückmeldungen aus dem Arbeitsalltag für kontinuierliche Verbesserungen genutzt werden. Die Entwicklung erfolgt im Rahmen des Kompetenzzentrums KREIS (Kompetenzzentrum der Arbeitsforschung KREIS, TU Braunschweig) mit Fokus auf die Recyclingindustrie.

Der Ansatz stützt sich konzeptionell auf eine Sicherheitsauffassung, die neben Regelkonformität auch Anpassungsfähigkeit, Beteiligung und Lernen betont (Safety II; Hollnagel, 2014). So wird Sicherheit nicht nur als Abwesenheit von Unfällen

verstanden, sondern als Ergebnis aufmerksamen, kompetenten Handelns im Prozess, unterstützt durch digitale Systeme, die Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort bereitstellen und nutzerfreundliche Interaktionen ermöglichen (Hollnagel, 2014).

2. Methodik

Die Konzeptionierung des HSE-Hubs folgte einer designorientierten, partizipativen Vorgehensweise. In einem mehrstufigen Prozess wurden zunächst Bedarfe erhoben, Anforderungen dokumentiert, bewertet und schließlich Gestaltungsanforderungen abgeleitet.

Datengrundlage waren Interviews, Fokusgruppen, Feldbeobachtungen und die gemeinsame Analyse realer Arbeitsabläufe in Betrieben der Kreislaufwirtschaft mit Schwerpunkt auf Metall- und Elektronikverarbeitung. Im Zentrum standen fünf wiederkehrende Anforderungen: (1) Integration vorhandener Daten- und Informationsflüsse, (2) adaptive, kontextnahe Informationsausspielung, (3) visuelle und mehrsprachige Kommunikation, (4) bidirektionales Feedback sowie (5) transparente Nachvollziehbarkeit von Maßnahmen. Diese Anforderungen definieren den Rahmen für die Software- und Prozessgestaltung des HSE-Hubs.

3. Konzept und Use-Case-Szenarien

Da Mitarbeitende Situationen und deren Risiken besser antizipieren, wenn diese visuell und sprachreduziert dargestellt werden (Parker, S. K., & Knight, C., 2024), sollen innerhalb der Use-Cases des HSE-Hubs sicherheitsrelevante Informationen in Echtzeit mit operativen Tätigkeiten verbunden und so Medieninkonsistenzen geschlossen werden. Ebenso sollen Nahtstellen zu bestehenden Systemen wie u.a. Enterprise Resource Planning (ERP), Manufacturing Execution Systemen (MES), Environment, Health, Safety Software (EHS), Human Resources Systemen (HR) geschaffen, kontextsensitive Informationen bereitgestellt und eine nachvollziehbare, revisionssichere Dokumentation ermöglicht werden. Feedbackmöglichkeiten in einzelnen Arbeitsschritten beteiligen die Mitarbeitenden an der Prozessoptimierung.

Die Gestaltung wird an den Dimensionen eines stimulierenden, beherrschbaren, autonom gestaltbaren und sozial eingebetteten Arbeitsdesigns ausgerichtet (Parker, S. K., & Knight, C., 2024).

3.1 Praxisbeispiel Wareneingang und Probenahme

Im Wareneingang metallhaltiger Schlämme werden Lieferpapiere geprüft, Gebinde visuell inspiziert und Abweichungen dokumentiert. Der HSE-Hub begleitet diese Schritte mit klaren, kontextbezogenen Anweisungen (z. B. Sichtkontroll-Checklisten, PSA-Hinweise), ermöglicht eine digitale Bestätigung von Arbeitsschritten und führt bei Auffälligkeiten in eine vertiefte Risikobewertung. Für die Probenahme unterstützt die Plattform schrittweise Präparationsprozesse, erfasst relevante Daten (z. B. Feuchte, Zwischenergebnisse, Auffälligkeiten) und stellt Kommunikation zu Warenwirtschaft, Labor und Logistik bereit.

Die unmittelbare Bereitstellung relevanter Informationen senkt Fehlerrisiken, erleichtert Einarbeitung und nimmt Einfluss auf das Arbeitssicherheits-Erleben der

Mitarbeitenden. Der tatsächliche Prozessdurchlauf ist unabhängig von der ausführenden Person nachvollziehbar.

3.2 Nachweisführung und Lernen im Prozess

Jede sicherheitsrelevante Interaktion wird versionssicher dokumentiert (Zeitstempel, Verantwortlichkeiten, Status). Beschäftigte können Beobachtungen und Verbesserungsvorschläge direkt melden. Diese Rückkopplung erweitert die Datenbasis und stärkt eine lernorientierte Sicherheitskultur. Mitarbeitenden-Feedback wird in kontinuierliche PDCA-Verbesserungszyklen (Plan-Do-Check-Act, Deming, W. E., 1986) integriert, daraus folgend werden Vertrauen und Beteiligung gefördert.

3.3 Systemarchitektur und Datenflüsse

Der HSE-Hub aggregiert sicherheitsrelevante Informationen in einem zentralen Datenpool und stellt über offene Schnittstellen Verbindungen zu ERP-, MES-, EHS- und HR-Systemen her. Zu Beginn eines Workflows werden kontextspezifische Voraussetzungen (Material, Ort, Tätigkeit, Qualifikation) ermittelt. Daraus werden innerhalb der Plattform die jeweils relevanten Vorgaben abgeleitet und diese in Form von klar strukturierten, visuell unterstützten Dialogen zur Verfügung gestellt. Nach Abschluss dokumentiert das System die ausgeführten Schritte, Bestätigungen und Ergebnisse revisionssicher. Rückmeldungen der Beschäftigten, wie etwa Beobachtungen, Vorfälle oder Verbesserungsvorschläge, fließen wiederum in den Datenpool zurück und verbessern sukzessive die Qualität der Hinweise.

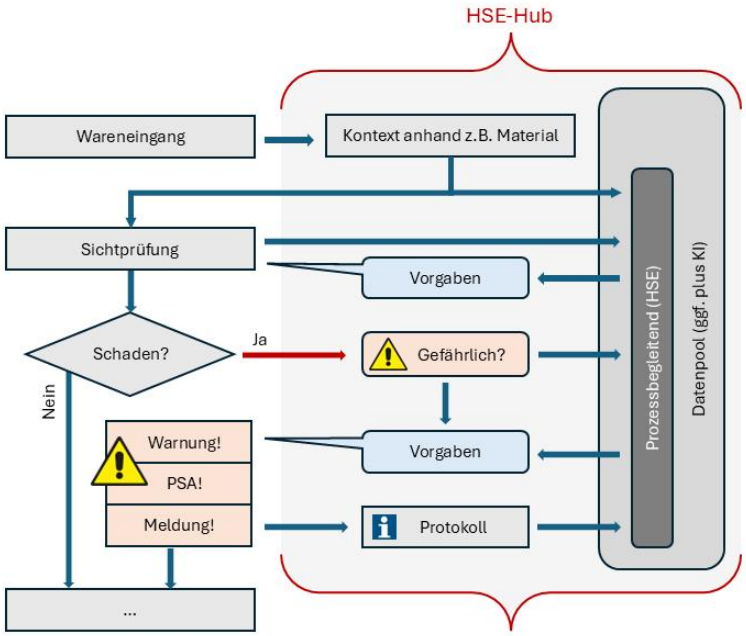


***Abbildung 1**: Exemplarischer Anwendungsfall (Sichtprüfung nach Wareneingang).*
PSA: Persönliche Schutzausrüstung
KI: künstliche Intelligenz

3.4 Wirkebenen des HSE-Hubs

Individuum: Arbeitsplatznahe Hinweise in Echtzeit, bedarfsgerechte Informationsdichte und -tiefe sowie visuelle Unterstützung verringern Fehlerrisiken und stärken das Kompetenz- und Wirksamkeitserleben.

Team: Gemeinsame Oberflächen, Benachrichtigungen und Feedbackfunktionen erleichtern Abstimmung und fördern ein geteiltes Sicherheitsverständnis.

Organisation: Konsistente Datenschnittstellen und Nachweisführung reduzieren Medienwechsel und Doppelarbeit, erhöhen Transparenz und Rechtssicherheit.

System (HSE): Integrierte Informationsflüsse verbinden Arbeits-, Gesundheits- und Umweltschutz zu einem lern- und beteiligungsorientierten Gesamtsystem.

3.5 Nutzen und Grenzen in Betrieben

Der Einsatz des HSE-Hubs kann an sozial-organisatorische Grenzen geraten, insbesondere dort, wo Mitbestimmungsrechte, subjektives Kontrollempfinden und Spannungen in der relationalen Arbeitsgestaltung berührt werden. Einschränkungen in Beteiligungsmöglichkeiten, ein mögliches Gefühl erhöhter, technisierter Überwachung sowie Veränderungen rollenbasierter Dynamiken zwischen Mitarbeitenden und Führungskräften zeigen, dass digitale HSE-Systeme nicht nur technische, sondern auch partizipativ-sensible und beziehungsrelevante Herausforderungen mit sich bringen und daher einer sorgfältigen Einführung und Ausgestaltung bedürfen.

3.6 Rechtliche und organisatorische Leitplanken

Die digitale Bestätigung sicherheitsrelevanter Schritte berührt Datenschutz und Mitbestimmung. Erforderlich sind die Definition klarer Zwecke und Regeln, Rechte- und Rollenkonzepte, die Einhaltung gesetzlich verpflichtende Aufbewahrungsfristen, T-O-P Schutzmaßnahmen sowie Vereinbarungen mit der Arbeitnehmervertretung. Die Einführung beinhaltet ein tragfähiges, akzeptanzförderndes Kommunikations- und Schulungskonzept.

3.7 Transfer in der Kreislaufwirtschaft

Die in Wareneingang und Probenahme erprobten Prinzipien lassen sich perspektivisch auf weitere Prozessschritte übertragen: Demontage, Sortierung, Logistik. Entscheidend ist die passgenaue Modellierung der Prozessketten, sodass Hinweise weder überfordern, ermüden oder Lücken lassen.

4. Fazit

Der HSE-Hub soll die Lücke zwischen formaler Regelkonformität und gelebter, adaptiver Sicherheit schließen. Durch die kontextnahe Bereitstellung relevanter Informationen, digitale Nachweisführung und bidirektionales Feedback werden Arbeits- und Umweltsicherheit messbar gestärkt, insbesondere in der Recyclingindustrie. Die prototypische Umsetzung im Projekt KREIS zeigt, dass transparente Prozesse, klare Handlungsanweisungen und lernorientierte Rückkopplungen Vertrauen und Beteiligung fördern.

5. Literatur

Deming, W. E. (1986). *Out of the crisis.* Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study.

Diegmann, I. (2025). *Rewimet-Symposium – Digitale Unterstützung für mehr Sicherheit in Recyclingprozessen* [Präsentation]. Metalogie GmbH.

Hollnagel, E. (2014). *Safety-I and safety-II: The past and future of safety management (1st ed.).* CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781315607511

Mattana, S. et al. (n.d.). *SMART work design for health, safety & environment: From compliance to engagement.* Eingereichtes Manuskript.

Parker, S. K., & Knight, C. (2024). *The SMART model of work design: A higher order structure to help see the wood from the trees.* Human Resource Management, 63(2), 265-291. https://doi.org/10.1002/hrm.22200

Mischarbeit – Ein Beitrag zur Systematisierung verschiedener Belastungen

Johannes BROMBACH

Hochschule München, Fakultät für Wirtschaftsingenieurwesen
Arbeitswissenschaft und angewandte Ergonomie
Lothstr. 64, D-80335 München

Kurzfassung: Im Beitrag wird eine Systematisierung für Mischarbeit vorgenommen und es werden exemplarisch verschiedene Anforderungskombinationen untersucht. Abschließend wird die Beurteilung des Zusammenwirkens diskutiert und Kategorien für stark belastende Tätigkeiten aufgezeigt.

Schlüsselwörter: Mischarbeit, körperlich stark belastende Tätigkeiten, kombinierte Anforderungen, physische und psychische Belastung

1. Einleitung

Für die Kongress-Session „Stark belastete Berufsgruppen im Fokus der Arbeitswissenschaft“ stellt dieser Beitrag eine Einführung zur Systematisierung dar. Physiologische Mischarbeit, verstanden als das Auftreten unterschiedlicher körperlicher Anforderungen, wird in den Leitmerkmalmethoden in einer belastungsartspezifischen Zusammenfassung dargestellt (vgl. BAuA, 2019). Allerdings erlaubt diese Zusammenstellung („LMM Multi E“) bislang keine Bewertung der tatsächlichen Auswirkungen kombinierter physischer Belastungen – etwa des gleichzeitigen Auftretens von Heben und Tragen sowie Zwangshaltungen – auf den Menschen und seine Beanspruchung. Auch die Kombination körperlicher und klimatischer Belastungen darf nicht vernachlässigt werden, insbesondere unter den Bedingungen extremer Temperaturen im Außenbereich. Besonders interessant ist die gleichzeitige Einwirkung physischer und psychischer Belastungsfaktoren. Obwohl diese Problematik seit Längerem bekannt ist, verdient sie nach wie vor besondere Aufmerksamkeit. Verschiedene Studien weisen darauf hin, dass insbesondere die Kombination aus körperlicher und psychosozialer Belastung ein erhöhtes Gesundheitsrisiko mit sich bringt. Dennoch existieren bislang nur wenige Untersuchungen, die beide Belastungsdimensionen umfassend und integriert betrachten.

2. Systematisierung von Belastungskombinationen

Tabelle 1 zeigt verschiedene Arten von Belastungen bzw. Cluster in den die unterschiedlichen Bereiche der Anforderungen zusammengefasst werden können. Diese Aufteilung wird gewählt, weil Arbeit in einer ganzheitlichen Betrachtung typischerweise körperliche und psychische Anforderungen hat, unter bestimmten Umweltbedingungen geleistet wird und organisatorischen Rahmenbedingungen unterliegt. Beispielhaft werden für die 4 Cluster 4 ausgewählte Bereiche herausgegriffen. In Tabelle 1 sind dies der Energieumsatz, die Interaktionsarbeit, Lärm

und das Arbeiten im Stehen. Soweit auch mögliche Indikatoren und – falls vorhanden – Grenzwerte genannt werden können, sind diese ebenfalls beispielhaft dargestellt. Zu Gunsten der Übersichtlichkeit erhebt die Aufstellung der Bereiche keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Tabelle 1: *Diese Darstellung zeigt beispielhaft körperliche und psychische Anforderungen sowie Umweltfaktoren und organisatorische Rahmenbedingungen auf.*

Art bzw. Cluster	Bereiche	Mögliche Indikatoren	Ggf. bestehende Grenzwerte
Körperliche Anforderungen:	**Energieumsatz,** Kraftaufwand, Muskelbeanspruchung, Körperhaltung, repetitive Bewegungen …	z.B. Dauerleistungsgrenze	z.B. 300W bei Männern und 200W bei Frauen (bei allseitig. dynamische Arbeit)
Psychische Anforderungen:	**Interaktionsarbeit** Konzentration, Vigilanz, soziale Anforderungen, emotionale Anforderungen …	z.B. Zitate, die aus qualitativen Studie extrahiert werden	
Umweltfaktoren:	**Lärm,** Klima, Licht, Feuchtigkeit, Geruch, Schutzkleidung …	z.B. Pegelwerte in dB	z.B. $L_{ex8}h$>80 bzw. 85 dB(A) LärmVibrationsArbSchV
Organisatorische Rahmenbedingungen:	**Arbeitsorganisation** Arbeitszeitmodelle, Schichtarbeit, …	z.B. Stehen in Bezug auf körperliche Belastungen	z.B. LV 50 in Bezug auf Stehen/Sitzen/Gehen 60/30/10

Aus dieser Tabelle erkennt man bereits ein Kernproblem der derzeitigen Situation. Aus der Vergangenheit wurden häufig Grenzwerte abgeleitet, die auf objektiv messbaren Indikatoren beruhen und für die Praxis einfach nachprüfbar sein sollen. Bei physischen Indikatoren ist das angebracht, wenn es um Leistungskennzahlen geht oder Belastungsgrenzwerte wie z. B. Schallbelastungen in dB. Allerdings ist auch in diesem Bereich in Laufe der Zeit ein Wandel zu beobachten. Wurden früher z. B. schwere Lasten über 40 kg für Männer und 25 kg für Frauen grundsätzlich als Risiko einzustufen (vgl. bgn-branchenwissen) oder Zeitanteile für Stehen/Sitzen/ Gehen von 60/30/10 vorgeschlagen (vgl. LV50), werden in modernen Methoden der Arbeitswissenschaft bzw. der ergonomischen Risikoanalyse viel genauer die Belastungshöhe und -dauer betrachtet. Einfache (isolierte) Grenzwerte als Einzahlen-Werte werden zunehmend als unzureichend eingestuft. Die Beurteilung der psychischen Anforderungen ist für die praktische Überprüfung noch schwieriger, da es keine in vergleichbarer Weise festgelegten Grenzwerte gibt (Ferreira und Vogt, 2022).

Im Projekt Megaphys wurden zuletzt 2019 (BAUA, 2019) verschiedene Möglichkeiten der Modellierung für eine methodische Bestimmung von physischer Mischarbeit publiziert. Dabei wurde die Bestimmung der Beanspruchung durch physikalische bzw. physiologische Messgrößen als derzeitig nicht realisierbar eingestuft. Auch die Alternative epidemiologisch ermittelten Effekte bei Kombinationsbelastungen für ein Bewertungsmodell zu verwenden, wurde letztlich als derzeit nicht machbar beurteilt. Schließlich wird der Vorschlag gemacht die Stärke des Zusammenwirkens als einen „Zuschlag der Belastung einer zweiten Belastungsart auf die Höchstbelastung der ersten – am stärksten wirkenden – Belastungsart zu verstehen“. D. h. diejenige Belastung, die die Arbeit am besten beschreibt wird beurteilt und zusätzliche Belastungen werden je nach der Wirksamkeit der zusätzlichen

Belastung mit 50% (bei stark wirksamen Belastungen) und 20% (bei mäßig wirksamen Belastungen) auf die Risikobeurteilung aufgeschlagen. Am Beispiel von Pflegeberufen (BAuA Projekt F 2599) soll derzeit der Fragestellung kombinierter physischer Belastungen weiter nachgegangen werden.

Wenn von Tätigkeiten, die körperlich stark belastend sind, gesprochen wird, handelt es sich nicht nur um Tätigkeiten, die körperliche Anforderungen aufweisen. Auch organisatorische Rahmenbedingungen (wie langes Stehen) und Belastungen aus der Umwelt (wie warmes Klima) oder starke psychische Belastungen haben körperliche Auswirkungen. Trägt man dem Gedanken Rechnung, dass grade eine Kombination von unterschiedlichen Belastungen ausschlaggebend sein kann, dann ist es nicht uninteressant die verschiedenen Bereiche (Cluster) zunächst in einem paarweisen Vergleich gegenüberzustellen und auf Ihre Wechselwirkungen hin zu untersuchen. Innerhalb der Cluster gibt es - wie dargelegt - sehr viele Bereiche (vgl. Tabelle 1). Damit sind Wechselwirkungen und Kombinationsmöglichkeiten leider äußerst vielfältig und in ihrer Gesamtheit kaum darstellbar. Im Folgenden werden daher aus neueren Quellen nur einige ausgewählte Zusammenhänge exemplarisch dargestellt.

Tabelle 2: *Zusammenstellung verschiedener Belastungen im paarweisen Vergleich.*

	Psychische Anforderungen	**Umweltfaktoren**	**Organisatorische Rahmen-bedingungen**
Körperliche Anforderungen	Zusammenhänge körperlich/psych.	Zusammenhänge körperlich/Umwelt	Zusammenhänge körperlich/orga.
Psychische Anforderungen		Zusammenhänge psychisch/Umwelt	Zusammenhänge psyschich/orga.
Umweltfaktoren			Zusammenhänge Umwelt/orga.

Körperliche und psychische Anforderungen werden am Beispiel der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung (2018) z. B. in Bezug auf Basisarbeit mit u.a. emotionalen Belastungen und Arbeitsumgebungsbedingungen in verschiedenen Sektoren untersucht. Die detaillierte Studie wird hier herangezogen, weil Basisarbeitende typischerweise physischen Anforderungen wie z. B. Arbeiten im Stehen, Heben und Tragen schwerer Lasten, Arbeiten in Zwangshaltungen sowie verschiedenen Arbeitsumgebungsbedingungen ausgesetzt sind (Lück et al. 2023). Lück et al. (2023) berichten für Basisarbeitende, dass als wichtige Faktoren zur Prävention von Gesundheitsbeschwerden in den untersuchten Sektoren (Handel, Finanzwesen, öffentliche Dienstleistungen) emotionale Belastung, Arbeitsumgebungsbedingungen und physische Arbeitsbedingungen identifiziert wurden. Es ist gut nachvollziehbar, dass die physischen Anforderungen wie z. B. Arbeiten im Stehen, Heben und Tragen schwerer Lasten, Arbeiten in Zwangshaltungen und Umweltbedingungen auch ein Prädikator für muskuloskelettale Beschwerden bei Basisarbeitenden sind. Die spezifischen Belastungen unterscheiden sich aber. Im Handelssektor und in öffentlichen Dienstleistungen wurden physische Arbeitsbedingungen herausgestellt. Im Handels- und Finanzsektor ist es Arbeit, die als emotional fordernd erleben wird und im Finanzsektor stehen nicht selten monotone Arbeitsanforderungen in einem signifikant positiven Zusammenhang mit der Anzahl an Muskel-Skelett-Beschwerden. Diese steigen noch einmal an, wenn zusätzlich

ungünstige Arbeitsumgebungsbedingungen auftreten.

In Bezug auf **körperliche Anforderungen und Umweltfaktoren** wird in der oben erwähnten Studie (Lück et al., 20223) also verdeutlicht, dass Mitarbeiter in der Basisarbeit, die durch ihre Tätigkeit häufiger mit Arbeitsumgebungsbedingungen konfrontiert sind, von einer höheren Anzahl muskuloskelettaler Beschwerden berichten. Dabei werden die Arbeitsumgebungsbedingungen wie folgt erfasst: Arbeiten bei Rauch, Staub oder unter Gasen, Dämpfen, Arbeiten unter Kälte, Hitze, Nässe, Feuchtigkeit oder Zugluft, Arbeiten mit Öl, Fett, Schmutz oder Dreck, Arbeiten bei grellem Licht oder schlechter bzw. zu schwacher Beleuchtung und unter Lärm sowie Arbeiten unter störenden Geräuschen. Aus physiologischer Sicht lassen sich weitere, bekannte Zusammenhänge erläutern. Grade vor dem Hintergrund der medial verstärkten klimatischen Umweltveränderungen sind körperliche schwere Arbeit und warme Umgebungsbedingungen ein aktuelles Thema. Bei körperlicher schwerer Arbeit wie auch bei Hitzebelastungen ist das Herzkreislaufsystem stark beansprucht. Die negativen Effekte subsummieren sich also zumindest auf. Auch durch die Kombination von Vibration und Kälte sind negative Effekte bekannt. So können vibrierende, von Hand geführte technische Werkzeuge und Maschinen Durchblutungsstörungen an den Fingern hervorrufen. Das sog. Vibrationsbedingtes Vasospastisches Syndrom (oder früher "Weißfinger-Krankheit") wird dabei typischerweise durch Kälteeinfluss verstärkt (vgl. Merkblatt zur BK Nr. 2104).

Die hier vorgenommene Einteilung in Belastungen, die aus **organisatorischen Rahmenbedingungen** stammen, dient vor allem dazu mögliche Maßnahmen zur Verbesserung zu thematisieren. Je nach wissenschaftlicher Fragestellung werden diese Einflussfaktoren aber z.T. den psychischen Belastungen zugeordnet. Beispielsweise kann eine durch die Arbeitsorganisation notwendige (oder auch nicht notwendige) Einschränkung des Handlungsspielraums (vgl. z. B. in der BIBB BAUA Befragung 2028 „Wie häufig kommt es vor, dass … Sie Ihre eigene Arbeit selbst planen und einteilen können?“) von der Ursache her als organisatorische Rahmenbedingung oder von der Wirkung her als psychische Belastung geführt werden. Gerade weil die Arbeitsorganisation im Sinne der Schaffung positiver Ressourcen genutzt werden kann, soll das Thema hier getrennt beleuchtet werden, obwohl es natürlich sprichwörtlich „zwei Seiten derselben Medaille“ sind. Beispielweise wird oben bereits in der Studie zu Basisarbeitenden im Finanzsektor herausgestellt, dass häufige monotone Arbeitsanforderungen in einem signifikant positiven Zusammenhang mit der Anzahl an Muskel-Skelett-Beschwerden stehen. Gleiches gilt für einige typische arbeitsorganisatorische Belastungsfaktoren wie z. B. das Arbeiten in stehender Körperhaltung. Je nach Blickwinkel handelt es sich um eine körperliche Belastung aber auch um eine organisatorische Rahmenbedingung. In einer Metastudie von NIOSH (vgl. Wong, 2019) zeigten Arbeitnehmer mit langen Arbeitszeiten ein höheres Risiko für berufsbedingte Gesundheitsprobleme. Kurze Schlafdauer stellte sich unter den Gesundheitsindikatoren als stärkster Zusammenhang mit langen Arbeitszeiten heraus. Die Ergebnisse unterstreichen die schädlichen Auswirkungen langer Arbeitszeiten auf die Gesundheit am Arbeitsplatz. Die Ergebnisse einer koreanischen Studie (vgl. Park, et al., 2022) geht in diesem Zusammenhang noch einen Schritt weiter. Dabei wird im Besonderen von einer Superposition der gleichzeitigen Exposition von ergonomischen Risikofaktoren und langen Arbeitszeiten und deren Wechselwirkungseffekt auf Muskel-Skelett-Symptome berichtet.

Besonders interessant ist schließlich der Einfluss der **Arbeitsintensität**. Basierend auf den Daten der letzten vier BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragungen von 2006 bis

2024 zeigen Siefer et al. (2025) auf, wie einzelne Indikatoren (wie z. B. verschiedene parallele Aufgaben, Termin- oder Leistungsdruck, häufige Unterbrechungen, hohes Arbeitstempo, sowie das Arbeiten an der Grenze der Leistungsfähigkeit) empfunden werden. Es zeigt sich, dass die Befragten körperlich und emotional (durchaus sprunghaft) mehr erschöpft sind (28% auf 52%), wenn diese Bedingungen kombiniert und in Summe auftreten (z. B. bei einer Steigerung von 4 auf 5).

3. Beurteilung kombinierter Belastungen und Arbeitsintensität in der Zusammenstellung

Körperlich stark belastende Tätigkeiten können eindeutig identifiziert werden, wenn einzelne Belastungsindikatoren über kritischen Werten liegen oder bekannte, kritische Kombinationen vorliegen.

Messbar und eindeutige Kategorie (1):

- Bekannte Grenzwerte werde überschritten (z. B. Arbeit über der Dauerleistungsgrenze)
- Bekannte Kombinationen aus unterschiedlichen Belastungsgrößen sind in Kombination kritisch (z. B. Körperliche Arbeit und Hitze)

Empirische Kategorie (2):

- Bekannte Kombinationen aus unterschiedlichen Belastungsgrößen werden kritisch (z. B. Körperliche Arbeit und psychische Belastung)
- Grundsätzlich eine zu hohe Arbeitsintensität

Hypothetisch mögliche Kategorie (3):

- Bisher unbekannte Kombinationen aus unterschiedlichen Belastungsgrößen werden kritisch
- Verschiedene Belastungen werden in Summe unerträglich

Nicht zuletzt vor dem Hintergrund psychosomatischer Erkrankungen kann man aber nicht allein aus der Analyse rein physischer Indikatoren auf stark belastende Tätigkeiten schließen. Vielmehr muss das Zusammenwirken unterschiedlicher Belastungsarten und die jeweilige Arbeitsintensität in der Gesamtsicht bewertet werden. Damit können sowohl einzelne Elemente der körperlichen Arbeitsbedingungen als auch mögliche, ungünstige Kombinationen aus körperlichen und anderen (d. h. auch nicht körperlichen) Einflussgrößen für die Betroffenen körperlich (und emotional) erschöpfend wirken. Aus den Studien lassen sich u. a. die Kombination körperlicher Arbeit mit Belastungen aus den Umgebungsbedingungen, psychischen Belastungen und mit der Arbeitsdauer (Arbeitsorganisation) sowie grundsätzlich mit der Arbeitsintensität aufzeigen. Die genannten Studien verfolgen aber z. T. einen explorativen Ansatz. Ob diese Belastungen im Sinne einer ergonomischen Risikoanalyse kritische Beanspruchungen aufweisen, oder Grenzwerte überschritten wurden, kann man mit den Daten nicht belegen. Die letzte Kategorie soll aufzeigen, dass bisher evtl. noch nicht alle kritischen Kombinationen untersucht worden sind und das natürlich die Möglichkeit besteht, dass Tätigkeiten einfach durch die Menge an unterschiedlichen Belastungen in Summe mit oder ohne körperliche Belastungen evtl. als unerträglich empfunden werden können.

An dieser Stelle soll noch einmal die Problematik unterschiedlicher Messmethoden und Bewertungsskalen aufgegriffen werden, die die Vergleichbarkeit der Befunde so schwierig macht. Es fällt auf, dass Studien mit klar definierten körperlichen Belastungen und einem eher physiologischen Betrachtungswinkel in der Regel leider

vom Umfang der Stichprobe her sehr klein sind. Zudem sind häufig in Studien aus der Literatur leider keine zur BIBB BAuA Erwerbstätigenbefragung vergleichbaren Befragungen erhoben worden. Vermeintlich sind die technisch geprägten Verfahren der körperlichen Belastung an vielen Stellen objektiver als eine subjektive Beurteilung der Bedingungen durch die Befragten. Betrachtet man aber die in der Praxis auftretenden Probleme und Schwierigkeiten kritisch, so wird klar, dass auch bei den bestehen Beurteilungsmethoden zumindest zum Teil ein gewisser subjektiver Spielraum vorhanden ist. Schließlich wird hier z.T. die Schlussfolgerung getroffen, dass schere körperliche Arbeit zu körperlichen Beschwerden (wie z. B. Muskel-Skelett-Beschwerden) führt. Dabei ist aber einschränkend zu beachten, dass Muskel-Skelett-Beschwerden grundsätzlich stark altersabhängig sind und sich auch nicht notwendigerweise sofort zu Beginn der Exposition einstellen. Der Vollständigkeit halber muss erwähnt werden, dass unter anderem auch Bewegungsmangel (also die gegenteilige Belastung durch zu wenig körperliche Aktivität) zu den Risikofaktoren für Muskel-Skelett-Beschwerden gehört.

Während die verschieden angesprochenen Methoden in Zukunft besser aufeinander abgestimmt werden müssen, muss betont werden, dass die Einbeziehung der Mitarbeiter bei der Analyse zusammengesetzter Belastungen für die Gefährdungsbeurteilung aufgrund der derzeitigen Erkenntnisse unerlässlich ist.

4. Literatur

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). (2019). MEGAPHYS – Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz, Bd. 1. BAuA-Forschungsbericht F 2333. Dortmund: BAuA

Ferreira, Y. & Vogt, J. (2022). Psychische Belastung und deren Herausforderungen. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 76(2), 202–219. https://doi.org/10.1007/s41449-021-002 92-5

LASI (2009): Bewegungsergonomische Gestaltung von andauernder Steharbeit: Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen. Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (Hrsg.). LASIVeröffentlichung LV 50, 2009.

Marcel Lück, Lena Hünefeld, Arthur Kaboth, Arbeitsbedingungen und Gesundheit von Basisarbeitendenin drei Dienstleistungssektoren, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund, 2023

Merkblatt zur BK Nr. 2104: Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen an den Händen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können (Bek. des BMA vom 10.7.1979 im Bundesarbeitsblatt 7/8/1979)

Park JW, Kang MY, Kim JI, Hwang J, Choi SS, Cho SS. Influence of coexposure to long working hours and ergonomic risk factors on musculoskeletal symptoms: an interaction analysis. BMJ Open. 2022 May 13;12(5):e055186. doi: 10.1136/bmjopen-2021-055186. PMID: 35568498; PMCID: PMC9109086.

Siefer, Anke; Hünefeld, Lena, 2025. Arbeitsintensität genauer betrachtet: Anforderungen entwickeln sich unterschiedlich. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. baua: Fakten.

Wong K, Chan AHS, Ngan SC. The Effect of Long Working Hours and Overtime on Occupational Health: A Meta-Analysis of Evidence from 1998 to 2018. Int J Environ Res Public Health. 2019 Jun 13;16(12):2102. doi: 10.3390/ijerph16122102. PMID: 31200573; PMCID: PMC6617405.

Arbeit. System. Test. Popup-Reallabore als Konsequenz des MTO-Ansatzes – Entwicklung eines Konzepts für Arbeitssystemtests

Andrea ALTEPOST, Adjan HANSEN-AMPAH, Michael BAU

ILAG Institut Leistung Arbeit Gesundheit, Hipperstr. 5, D-24306 Plön

Kurzfassung: Die Einführung eines technischen Systems in den Arbeitskontext entspricht der Veränderung eines kompletten Arbeitssystems. Der arbeitswissenschaftliche MTO-Ansatz adressiert die soziotechnische Konstitution der Arbeit und integriert mensch-, organisations- und technikbezogene Aspekte einschließlich ihrer Interaktionsbeziehungen. Orientiert u. a. an Rammerts technografischem Forschungsprogramm entwickelten die Autor:innen den Mixed-Methods-Ansatz der Arbeitssystemtests, der iterativ in steigender Komplexität wesentliche Komponenten des Arbeitssystems modelliert und ein typisches Aufgabenszenario mit einem technischen Prototypen unter Reallabor-Bedingungen erprobt.

Schlüsselwörter: Arbeitssystemtest, MTO-Ansatz, Reallabor, Methoden

1. Einleitung

Die Einführung eines technischen Systems – z. B. auf Basis Künstlicher Intelligenz oder Extended Reality (XR)-Technologie – in den Arbeitskontext bietet die Gelegenheit und den Auftrag, das Arbeitssystem als soziotechnisches System mit seinen Komponenten Mensch, Technik und Organisation sowie deren Interaktionsbeziehungen zu gestalten. Diese müssen in Entwicklung und Erprobung einer technischen Komponente berücksichtigt werden, um den Beitrag zu evaluieren, den die Technik innerhalb des Arbeitssystems zu leisten imstande ist. UX-Tests softwareergonomischer und funktionaler Merkmale greifen häufig zu kurz. Die Technografie bietet einen empirischen Ansatz, der dieser Komplexität Rechnung trägt (Rammert, 2007). In seine ethnografisch geprägte Methodik integriert Rammert explizit auch technische – z. B. durch technische Prototypen generierte – Daten. Auf diesem Konzept basiert die im vorliegenden Beitrag skizzierte Test- und Gestaltungsmethodik, mit der unter Nutzung verschiedener Datenquellen und Analyseinstrumente eine weitgehend ganzheitliche Analyse von Prototypen technikgestützter Arbeitssysteme erzielt werden kann. Iterativ werden in steigender Komplexität wesentliche Komponenten des Arbeitssystems modelliert und ein typisches Aufgabenszenario unter weitestgehend realen Bedingungen erprobt, mithin ein Arbeitssystem-Prototyp in einer Art zeitweisem Reallabor als Ganzes getestet. Hierfür prägen die Autor:innen den Begriff „Arbeitssystemtest“ (AST). Der Ansatz kann auch als Methodik einer präventiven und gestaltenden Technikfolgenabschätzung interpretiert werden (Hansen-Ampah et al., 2025).

2. Vorarbeiten: Empirische Basis aus durchgeführten Digitalisierungsprojekten

Zur partizipativen Entwicklung eines Assistenzsystems für Rüstprozesse an Webmaschinen erprobte das Forschungsteam ein empirisches Design, das auf Rammerts

technografischem Forschungsprogramm aufsetzte (Altepost et al., 2021; Fohn & Altepost, 2018). Für den Test eines Prototypen des Assistenzsystems und seines Anwendungskontextes wurde ein Anwendungsszenario entwickelt und in ein mehrstufiges Datenerhebungskonzept integriert. Nach einer A priori-Befragung zu sozioökonomischen Variablen, zu Technikaffinität und zum Wissen über den Rüstprozess führten die Testpersonen einen typischen Aufgabenausschnitt mit dem Assistenzsystem in einem Reallabor-ähnlichen Setting durch. Währenddessen wurden Logfile-, Video- und Beobachtungsdaten erhoben. A posteriori beantworteten die Testpersonen erneut die Wissensfragen zum Rüstprozess sowie standardisierte Fragen u. a. aus dem NASA-TLX (Task Load Index, Hart & Staveland, 1988) zur Messung der subjektiven Belastung. In Leitfadeninterviews konnten die Testpersonen umfassendes Feedback zur Praxissituation geben. Ergebnisse finden sich in (Altepost et al., 2021). Da beobachteter Stress und das NASA-TLX-Item „Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (…) fühlten Sie sich während der Aufgabe?“ keine kompatiblen Ergebnisse zeigten (Altepost et al., 2021), verwenden wir seither eine Modifikation des NASA-TLX, in der Stress in 2 Items Items gesplittet wurde. In einem weiteren Projekt wurde ein Remote-Wartungs-Szenario durch Extended Reality (XR) – Technologie unterstützt. Im AST lösten Werker und Experte eine komplexere Wartungsaufgabe gemeinsam, vermittelt durch Zugriff auf einen gemeinsamen virtuellen Raum mit digitalem Zwilling der Maschine. In diesem Setting spielte das gegenseitige Vertrauen eine entscheidende Rolle für das Gelingen der Zusammenarbeit auf Distanz – ein Aspekt, der ohne realistisches Durchspielen des Arbeitsprozesses kaum zutage getreten wäre. Symmetrische Fragen hierzu an Experten und Werker erbrachten eine dyadische Datenbasis zur technisch vermittelten Mensch-Mensch-Interaktion im Arbeitssystem. Zu Ergebnissen vgl. Bau et al. (2024). Ein dritter Use Case der AST betrifft die Gestaltung KI-gestützter Arbeit in Unternehmen der Textilbranche. Der Bewertungsrahmen wurde an die Spezifika der KI-Technologie und die im jeweiligen Anwendungsfall erarbeiteten Anforderungen an das Arbeitssystem angepasst. Als zusätzliches Element in der Datenerhebungsmethodik wurde – als technische Datenquelle ganz im Sinne von Rammert – das Eyetracking eingeführt. Damit lassen sich nicht nur optische Prioritäten und ggfs. Mängel am physischen Arbeitssystem erfassen, sondern auch die Aufmerksamkeitssteuerung von Nutzenden im Rahmen der Arbeitsaufgabe besser nachvollziehen als durch reine Logfile-Daten, bzw. diese lassen sich durch räumliche Informationen ergänzen. Für Details zu dieser AST-Anwendung vgl. Hansen-Ampah et al. (2026); speziell zur Verwendung des Eyetracking Pütz & Berlin (2026).

3. Ein Phasenkonzept zum Design von Arbeitssystemtests

Aus den Erfahrungen der in Projekten entwickelten empirischen Designs erwuchs der Bedarf eines systematischen methodischen Rahmens für AST; insbesondere, um diese als Bestandteil in Vorgehensmodellen für Digitalisierungsprojekte adäquat darzustellen und forschungspraktisch handhabbar zu machen. Hierzu wurden Merkmale und Output der Testiterationen betrachtet, die in Digitalisierungsprojekten typischerweise mit einer Iteration eines technischen Prototyps verbunden sind und unterschiedlich elaborierte Aufgabenszenarien (und damit auch Datenerhebungen) ermöglichen, und drei Phasen des AST-Prozesses zugeordnet. Zu adressierende Bewertungskriterien enthält ein Bewertungskatalog (Altepost et al., 2022) , der neben Standards der MTO-basierten Arbeitsgestaltung, insbesondere den KOMPASS-Kriterien (Grote et al., 2000), Aspekten der Beanspruchung und des aufgabenbezogenen Nutzens auch

Kriterien der Funktionalität und User Experience enthält. Diese sind auf die jeweilige Technologie und Anforderungen des Anwendungsfalls zu adaptieren. Zudem sind Daten zu Sozioökonomie, Technikaffinität und Domänenwissen vorgesehen.

Vortest-Phase: Hier wird ein Aufgabenszenario entwickelt, das geeignet ist, Daten zu den gewünschten Kriterien zu erheben. Ziel ist eine realistische, möglichst ganzheitliche Aufgabendurchführung einschließlich Ergebniskontrolle im Sinne der MTO-Kriterien, um durchzuspielen, wie gut das Gesamtsystem die Aufgabendurchführung unterstützt. Erhebungsinstrumente müssen entwickelt/angepasst und erprobt, Testpersonen ausgewählt, rekrutiert und auf die Testaufgabe vorbereitet werden. Dies kann durch einen Workshop und/oder Informationsdokumente zur Erläuterung des Testprozesses, Vermittlung erforderlichen Vorwissens, ggfs. Einführung und Erprobung des technischen Prototypen geschehen.

Phase 1: Mockup: Mit einem Mockup, z. B. auf Basis klickbarer Präsentationsfolien oder mittels Prototyping-Tools wie Figma erstellter Entwürfe, zum rudimentären Durchspielen einfacher mit der Techniknutzung verbundener Aufgaben, können z. B. Komponenten, Architektur und Oberfläche einer Digitalisierungslösung mit Anwender:innen erarbeitet werden (Altepost et al., 2021, S. 93). So können etwa erforderliche Verbindungen zwischen Systemkomponenten ermittelt oder optische Prioritäten für die Oberflächengestaltung eruiert werden. Alternativ können bestimmte Eigenschaften eines angestrebten technischen Systems anhand bereits laufender Beispielanwendungen mit spezifisch vergleichbaren Features diskutiert werden. Dieser Weg wurde im Forschungsprojekt ERTRAG gewählt, in dessen Rahmen Arbeitsumgebungen im Gesundheitswesen virtuell nachgebildet und damit hochwertige räumliche XR-Interaktionsmöglichkeiten für Forschung und Entwicklung, Vertrieb und Schulung von bzw. mit Medizinprodukten geschaffen werden. Anhand von Demo-Anwendungen aus dem Medizinbereich gaben Vertreter:innen der Nutzenden-Zielgruppen Feedback zu bestimmten Systemeigenschaften, z. B. Interaktivität im gemeinsamen virtuellen Raum.

Phase 2: Erster umgesetzter Prototyp: In dieser Phase wird die zu unterstützende Aufgabe in bereits möglichst realistischer Weise unter Verwendung des technischen Prototypen durchgeführt. Als Setting wird im Sinne des Reallabor-Ansatzes möglichst bereits ein Umfeld im Kontext des betrieblichen Arbeitssystems gewählt, z. B. im Rahmen einer Testproduktion/Nullserie, an einer aus dem Produktionsbetrieb vorübergehend herausgenommenen Maschine oder in einer Lehrwerkstatt. Noch nicht umgesetzte Bestandteile des technischen Prototyps oder weiterer Elemente des Arbeitssystems – z. B. organisationale Infrastruktur – können simuliert oder zunächst ausgelassen werden. Für bestimmte Datenerfassungsmethoden – z. B. Eyetracking – muss abgewogen werden, ob ein Einsatz sinnvoll ist, wenn das System den Funktionsumfang oder Interaktionsmöglichkeiten noch nicht vollständig abbildet.

Phase 3: Funktionsfähiger Prototyp: In Phase 3 wird das Arbeitssystem möglichst umfassend durch das Aufgabenszenario erprobt und die benötigte Datenbasis erhoben. Im Idealfall findet dieser AST im realen Arbeitskontext, z. B. an der „echten" Produktionsmaschine, statt. Durch die Aufgabendurchführung wird dann nicht nur erlebbar, ob etwa die benötigten Informationen zur Durchführung einer Wartungstätigkeit vorhanden und angemessen strukturiert sind – z. B. die KI dem Werker Vorschläge zur Parametereinstellung macht - , sondern auch, inwieweit die Daten durch die Testperson in der Aufgabendurchführung zielführend verwendet werden können bzw. was dazu ggfs. noch anzupassen ist, und ob die vorgeschlagenen Parameter zu einem akzeptablen Produktionsergebnis führen (was ggfs. auch simuliert werden kann, wenn ein AST im realen Produktionsprozess nicht möglich ist). Bei der Messung von Beanspruchungen sollte durch den nun mindestens zweiten Einsatz der Testpersonen der

Anteil von Artefakten zurückgehen, der durch die Konfrontation mit ungewohnter Technologie, einem neuen Arbeitsablauf und nicht zuletzt der Testsituation selbst entsteht. Ein Ansatz, diese mögliche Verzerrung im Testdesign zu berücksichtigen, wurde anlässlich des Tests eines Gabelstapler-Leitsystems unternommen (Bau et al., 2025); im Rahmen dieses Beitrags kann darauf nicht weiter eingegangen werden.

Weitere Phasen: Das Konzept schließt hier zunächst mit dem in einem öffentlichen Forschungsprojekt möglichen Technologie-Reifegrad und den damit einhergehenden Möglichkeiten einer realen Aufgabendurchführung ab. Weitere Phasen zur Entwicklung und Evaluation eines alltags-/marktfähigen digitalen Tools können angeschlossen, Funktionalitäten variiert und das ursprünglich getestete System in ein umfassenderes integriert werden. Auch kann jede Phase mehrfach durchlaufen werden.

4. Umsetzung im Forschungsprojekt ERTRAG

Im Projekt ERTRAG wurde als Vorstufe der AST ein Dilemma der partizipativen Technikentwicklung adressiert. Testpersonen in AST sind nicht immer mit dem technisch Machbaren vertraut, jedoch sollen sie bei der Generierung ihrer Vorschläge nicht durch vorab präsentierte Technik beeinflusst werden. Daher wurde am ILAG das Format des „Partizipativen Brainstormings“ entwickelt, in dem zu einem sehr frühen Zeitpunkt erste Ideen für den Einsatz von XR-Anwendungen von Mitarbeitenden generiert wurden (Altepost, 2025). Als Ergebnis des solchermaßen initiierten partizipativen Prozesses, auf den hier nicht näher eingegangen werden kann, wurde das Anwendungsszenario „Container-Überprüfung“ im Operationssaal ausgewählt, als Prozess modelliert und hierfür Anforderungen an die Arbeitssystemgestaltung erarbeitet. Bei dem Container handelt es sich um einen Metallbehälter, der sterile Implantate und dazugehöriges Instrumentarium für Operationen enthält und von der Operationstechnischen Assistenz vor oder während einer OP bereitgestellt, geöffnet und auf Vollständigkeit und Sauberkeit überprüft werden muss. Fehlende oder verunreinigte Bestandteile führen dazu, dass ein weiterer Container herangeholt und geprüft oder schlimmstenfalls – falls das Set nur einmal vorhanden ist – eine OP verschoben werden muss. Mit dem Prozess sind daher Unwägbarkeiten und ggfs. Kommunikations- und weitere Handlungserfordernisse verbunden. Tabelle 1 zeigt den aktuellen Stand der Planung zu Bewertungskriterien, Erfassungsinstrumenten und Umsetzung in den AST-Phasen. Der Ablauf der AST in Phase 2 und 3 wird der Struktur Befragung – Praxistest – Befragung und Interview entsprechen. Im AST wird zunächst die Funktionalität von XR-Headset und XR-App zur Prüfung des Containers betrachtet. Die Aufgabe muss mit der App adäquat durchgeführt werden können, Fehler im technischen System werden identifiziert und spezifisches XR-bezogenes Feedback eingeholt. Allgemeine Usability-Aspekte wurden bereits im Vorfeld an Demo-Apps erprobt und diskutiert. Für die standardisierte Beanspruchungsmessung wird voraussichtlich zusätzlich zum NASA-TLX die Digital Stressors Scale (Fischer et al., 2021) zur Anwendung kommen; ergänzt durch Interview und Beobachtung. Da die unterschiedlichen persönlichen Einstellungen und Voraussetzungen der Techniknutzung den Umgang mit der Testsituation beeinflussen könnten, wird neben basalen sozioökonomischen Daten auch die Technikaffinität mit dem Inventar Technikaffinität Elektronische Geräte (TA-EG) (Karrer-Gauß et al., 2024) erfasst. Geplant ist zudem, die Kommunikation zu anderen Akteur:innen in der OP-Situation durch die App zu unterstützen, entsprechend im AST zu modellieren und die Nutzung und systemseitige Unterstützung zu evaluieren. Weitere Kriterien

– basierend auf KOMPASS – sind die Lernförderlichkeit, Prozesstransparenz, Kopplung der Aufgabendurchführung an das technische System – insbesondere dessen Unterstützungsleistung – sowie die Verteilung der Entscheidungskompetenz zwischen Mensch und Technik.

Tabelle 1: Erfassung von Bewertungskriterien in Arbeitssystemtests im Projekt ERTRAG.

Kriterium Bewertungskatalog	Instrumente zur Erfassung	Phase 1	Phase 2	Phase 3
Funktionalität Hardware und Software - Durchführbarkeit Aufgabe mit techn. System - Fehler im technischen System	Leitfaden-Interview, Beobachtung, standardisierte Befragung, technische Daten (z. B. Screen Recording oder Logfiles zu Fehlermeldungen)		x	x
UX allgemein / Menüsteuerung etc. **UX technikspezifisch**	Interviewfragen, Beobachtung, technische Daten (z. B. Aufzeichnung XR-Brille, ggfs. Eyetracking)	x	x	x
Belastung/Beanspruchung - insb. zeitliche Flexibilität (Zeitdruck)	NASA-TLX, Digital Stressors Scale, Interviewfragen, Beobachtung		(x)	x
Persönliche Voraussetzungen - **Sozioökonomie; Technikaffinität**	Standardisierte Befragung zu Sozioökonomie, Erfahrungen in Domäne und Techniknutzung / Technikaffinität (TA-EG)		x	x
Kommunikation und Zusammenarbeit • Nutzung • Unterstützung durch Technik	Leitfaden-Interview, Beobachtung, technische Daten	x	x	x
Lernförderlichkeit	Leitfaden-Interview			x
Prozesstransparenz Rückmeldungen über Vorgänge im techn. System	Leitfaden-Interview, technische Daten zu (z. B. Aufzeichnung XR-Brille)	x	x	x
Kopplung (starr vs. dynamisch) - Abhängigkeit vom technischen System - Unterstützungsleistung des techn. Systems	Leitfaden-Interview, technische Daten (z. B. Aufzeichnung XR-Brille); ggfs. Eyetracking			x
Entscheidungskompetenz Mensch-Technik - auch: Handlungsträgerschaft	Leitfaden-Interview, Beobachtung		(x)	x

5. Diskussion und Fazit

Das AST-Konzept bietet ein Analyse- und Gestaltungsinstrumentarium, das ein Arbeitssystem bereits in der Entwicklung hinsichtlich zentraler Kriterien gesunder und persönlichkeitsförderlicher Arbeitsgestaltung (z. B. (Hacker & Sachse, 2023) zu bewerten ermöglicht. Da es diese Kriterien im Zusammenwirken von mensch-, technik- und organisationsbezogener Faktoren evaluiert, ist es an den arbeitswissenschaftlichen MTO-Ansatz (Strohm & Ulich, 1997; Ulich, 2013) unmittelbar anschlussfähig. Der begrenzte mögliche Technologie-Reifegrad in Forschungsprojekten sowie begrenzte Zeit-, Personal- und Materialressourcen beschränken jedoch auch die Möglichkeit, Dauerent- oder -belastungen unter regelmäßigen betrieblichen Einsatzbedingungen durch eine Technologie zu evaluieren und von Einarbeitungs- und Lerneffekten zu unterscheiden. Nicht alle Facetten der Arbeits(system)gestaltung lassen sich durch einzelne AST während der Entwicklungsphasen modellieren und evaluieren. Ein Großteil der Interaktionen mit technischen Komponenten und ihre Einbindung in Zusammenhänge des Arbeitssystems können aber datengestützt in ihren Konsequenzen für den Arbeitsprozess und die Gesundheit der Mitarbeitenden, aber auch in ihren Potenzialen analysiert und gestaltet werden.

6. Literatur

Altepost, A. (2025). *Partizipatives Brainstorming: Kollaborative Technikentwicklung von Beginn an*. https://projekt-ertrag.de/aktuelles/detail/partizipatives-brainstorming-kollaborative-technikentwicklung-von-beginn-an

Altepost, A., Bau, M., Uzun, Y., Riedlinger, U., Buchholz, F., & Oppermann, L. (2022). In meinen Koffer packe ich... Soziotechnische Systemgestaltung nach dem MTO-Prinzip am Beispiel 5G-Technologie. *Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten*. GfA-Frühjahrskongress.

Altepost, A., Merx, W., Rezaey, A., & Löhrer, M. (2021). *Neue Soziotechnische Systeme in der Textilbranche. Mensch-Technik-Interaktion und Ergebnisse der partizipativen soziotechnischen Systemgestaltung für ein Assistenzsystem in der deutschen Textilindustrie*. Institut für Textiltechnik und Institut für Soziologie der RWTH Aachen University.

Bau, M., Altepost, A., Buchholz, F., Riedlinger, U., & Oppermann, L. (2025). *Auf die Gabel gefühlt: 5G-schnelle Sensor-Informationen bei der Gabelstapler-Nutzung in der Evaluation*. Arbeit 5.0: Menschzentrierte Innovationen für die Zukunft der Arbeit. GfA-Frühjahrskongress 2025, Aachen.

Bau, M., Altepost, A., Uzun, Y., Buchholz, F., Riedlinger, U., & Oppermann, L. (2024). Trau keinem über 30 (Meter)? Rolle und Wahrnehmung von Vertrauen in einer Remote-Wartungs-Situation mit AR- und VR-Technologie. *Arbeitswissenschaft in-the-loop - Mensch-Technologie-Integration und ihre Auswirkung auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung*. 70. GfA-Frühjahrskongress.

Fischer, T., Reuter, M., & Riedl, R. (2021). The digital stressors scale: Development and validation of a new survey instrument to measure digital stress perceptions in the workplace context. *Frontiers in psychology*, *12*, 607598.

Fohn, A., & Altepost, A. (2018). Der Beitrag technografischer Analysen zur partizipativen soziotechnischen Assistenzsystemgestaltung für eine Weberei 4.0. In R. Weidner & A. Karafillidis (Hrsg.), *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen* (S. 371–379).

Grote, G., Ryser, C., Wäfler, T., Windischer, A., & Weik, S. (2000). KOMPASS: a method for complementary function allocation in automated work systems. *International Journal of Human-Computer Studies*, *52*(2), 267–287.

Hacker, W., & Sachse, P. (2023). *Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten* (4. Aufl.). vdf Hochschulverlag.

Hansen-Ampah, A., Altepost, A., & Bau, M. (2025). Technikfolgenabschätzung in der Transformation als soziotechnisches Verfahren. In M. Ornetzeder, M. Sotoudeh, & W. Peissl (Hrsg.), *Methoden für die Technikfolgenabschätzung. Bewährte Praxis, aktuelle Herausforderungen, neue Chancen* (S. 249–273). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-48491-0

Hansen-Ampah, A., Reuter, M., & Geliev, A. (2026). Was WIRKt? Weiterentwicklung des Arbeitssystemtests im Kompetenzzentrum WIRKsam. *Menschengerechte Arbeitsgestaltung*. GfA-Frühjahrskongress 2026, Kassel.

Hart, S. G. (2006). Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, *50*(9), 904–908. https://doi.org/10.1177/154193120605000909

Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology* (Bd. 52, S. 139–183). Elsevier.

Karrer-Gauß, K., Roesler, E., & Siebert, F. W. (2024). Neuauflage des TAEG Fragebogens: Technikaffinität valide und multidimensional mit einer Kurz- oder Langversion erfassen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, *78*(3), 387–406. https://doi.org/10.1007/s41449-024-00427-4

Pütz, V., & Berlin, F. (2026). Der Blick auf den Blick: Zur Analyse von Arbeitssystemen mit Eyetracking im Kompetenzzentrum WIRKsam. *Menschengerechte Arbeitsgestaltung*. GfA-Frühjahrskongress 2026, Kassel.

Rammert, W. (2007). *Technografie trifft Theorie: Forschungsperspektiven einer Soziologie der Technik*. TUTS-Working Papers. https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-12091

Strohm, O., & Ulich, E. (1997). *Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten. Ein Mehr-Ebenen-Ansatz unter besonderer Berücksichtigung von Mensch, Technik und Organisation*. vdf Hochschulverlag AG.

Ulich, E. (2013). Arbeitssysteme als Soziotechnische Systeme. *Journal Psychologie des Alltagshandelns*, *6*(1), 4–12.

Danksagung: Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „ERTRAG“ wird im Rahmen des Programms „Zukunft der Wertschöpfung“ (Förderkennzeichen: 02L23B070) durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) und die Europäische Union über den Europäischen Sozialfonds Plus (ESF Plus) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor:innen.

Anforderungen und Ressourcen in der Basisarbeit

Susanne GEISTER

Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Hochschule Harz
Friedrichstraße 57-59, D-38855 Wernigerode

Kurzfassung: Ausgehend von Erkenntnissen zur Basisarbeit werden Handlungsempfehlungen abgeleitet und diese auf stark belastete Berufsgruppen übertragen. Deutlich wird, dass sich Bedarfe vor allem im Dienstleistungsbereich ergeben. Dieser ist stark vertreten und es treten häufig verschiedene Anforderungen kombiniert auf. Psychische Anforderungen und Ressourcen sind schwer zu messen und können daher ins Hintertreffen geraten. Sie benötigen daher besondere Aufmerksamkeit. Weiterhin ist davon auszugehen, dass stark belastete Berufsgruppen häufig in KMUs anzutreffen sind. Somit braucht es anwendungsorientierte, niedrigschwellige und partizipative Verfahren in der Gefährdungsbeurteilung. Zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen ist ein integratives Vorgehen, in dem Führungskräfte eine zentrale Rolle spielen, sinnvoll.

Schlüsselwörter: Basisarbeit, psychische Anforderungen, Ressourcen, Dienstleistungen, KMU, Führungskraft

1. Beschäftigten- und Beschäftigungsmerkmale in der Basisarbeit

Im Rahmen der Kongress-Session „Stark belastete Berufsgruppen im Fokus der Arbeitswissenschaft“ stellt dieser Beitrag Angaben zur Basisarbeit vor. Basisarbeit wurde in letzten Jahren intensiv erforscht, so dass Erkenntnisse zu Beschäftigten- und Beschäftigungsmerkmalen und zur Gesundheit der Basisarbeitenden vorliegen. Dieses Wissen soll genutzt werden, um Erkenntnisse für körperlich und psychisch stark belastete Berufsgruppen abzuleiten. *Dies ist aus zwei Gründen sinnvoll:* Zum einen sind Basisarbeitende als stark belastete Berufsgruppe anzusehen. Zum anderen können Handlungsempfehlungen, die sich im Rahmen der Forschung zur Basisarbeit ergeben haben, auf weitere stark belastete Berufsgruppen übertragen werden. Im Folgenden werden zunächst Erkenntnisse zur Basisarbeit vorgestellt, bevor Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Eine anschauliche Darstellung der Beschäftigungsmerkmale und der Gesundheit der Basisarbeitenden ist auch in Geister und Lehmann (2025a, b) zu finden.

Basisarbeit umfasst Tätigkeiten für die eine kurze Einarbeitung direkt am Arbeitsplatz ausreicht. Aus der Beschäftigungsstatistik der Bundesagentur für Arbeit wird ersichtlich, dass von den insgesamt 39,3 Millionen Beschäftigten in Deutschland zum Stichtag 01.06.2025 etwa 7,78 Millionen Menschen Basisarbeit verrichteten (Summe aus SvB und aGB, Anforderungsniveau Helfer der KldB2010). Dies entspricht einem Anteil von 19,8%. Somit verrichtet nahezu jede fünfte erwerbstätige Person in Deutschland Basisarbeit. Die Verteilung der Basisarbeitenden auf die fünf Berufssektoren zeigt, dass mehr als 80% aller Basisarbeitenden in Dienstleistungsberufen tätig sind. Im Sektor der Produktionsberufe arbeiten nur 17,8% der Basisarbeitenden.

- *Geschlecht und Alter:* Basisarbeit ist zwischen Frauen und Männern relativ ausgewogen verteilt. Hinsichtlich der Sektoren gibt es Unterschiede: Neun von zehn (weiblichen) Basisarbeiterinnen sind in der Dienstleistung tätig, nur eine von zehn arbeitet in der Produktion. Bei den Männern sind zwei von drei in der Dienstleistung und einer von drei in der Produktion tätig. Die Alters-gruppen sind dabei nahezu gleichmäßig vertreten (Beschäftigungsstatistik der Bundesagentur für Arbeit, 2024, Stichtag 01.03.204).
- *Beschäftigungsmerkmale:* Basisarbeit weist häufig ungünstige Beschäftigungsmerkmale auf. So ist der Anteil an befristeten Verträgen, Zeitarbeit und Teilzeit höher als im Gesamtdurchschnitt aller Beschäftigten. Im Dienstleistungsbereich ist der Anteil an Helfer*innen in Teilzeit deutlich höher (53%) höher als im Produktionsbereich mit 15% (Beschäftigungsstatistik der BA, 2026, nur SvB). Auch das Einkommen ist oft niedrig (Seibert et al., 2022).
- *Arbeitssuche:* Mit rund 52% stellen Helfer*innen den größten Anteil unter den Arbeitsuchenden (Migrationsmonitor der BA, 2024, Stichtag 01.08.2024)
- *Unternehmensgröße:* Basisarbeitende sind deutlich häufiger in KMU tätig als der Durchschnitt aller abhängig Beschäftigten (Rump & Eilers, 2024).
- *Ausbildungsniveau:* Zwei Drittel der Basisarbeitenden verfügt über eine Berufsausbildung oder höhere Bildungsabschlüsse (Seibert et al., 2022).
- *Migrationsbiografie:* Ausländische Beschäftigte üben häufiger Hilfstätigkeiten aus. Etwa ein Drittel (36%) der Beschäftigten aus Drittstaaten geht einer Hilfstätigkeit nach. Hingegen liegt der Helferanteil bei Beschäftigten mit deutscher Staatsangehörigkeit nur bei 12% (Beschäftigungsstatistik der BA, 2026, nur SvB).
- *Gesundheit:* Basisarbeitende waren im Kalenderjahr 2023 im Durchschnitt 31,3 Tage pro Jahr krank. Damit liegt ihr Krankenstand deutlich über dem Durchschnitt aller Beschäftigten (22,4 Tage). Zudem zeigt sich, dass mit steigender Qualifikation und Komplexität der Tätigkeit die Zahl der krankheitsbedingten Fehltage sinkt (iwd, 2026).
- *Erkrankungsarten:* Muskel-Skelett-Erkrankungen zählen zu den häufigsten Ursachen für Arbeitsunfähigkeit (21% aller Ausfalltage). Sie treten bei Basisarbeitenden um 55% häufiger auf als bei anderen Beschäftigten. Krankheiten des Atmungssystems verursachen bei Basisarbeitenden über 14% aller Krankheitstage, führen aber meist nur zu kurzfristigen Ausfällen von etwa einer Woche. Psychische Erkrankungen, vor allem Depressionen und Anpassungsstörungen, sind bei Basisarbeitenden etwas seltener (etwa 11%) im Vergleich zu anderen Diagnosen (BGF, 2023).
- *Rente:* Die Wahrscheinlichkeit, die derzeitige Arbeit ausgehend von den gesundheitlichen Entwicklungen der letzten fünf Jahre in den verbleibenden Jahren bis zur Rente ausüben zu können, schätzen Basisarbeitende als gering ein. So halten etwa 28% der Basisarbeitenden die Fortführung der jetzigen Arbeit bis zur Rente für sehr oder eher unwahrscheinlich, während es unter anderen Beschäftigten nur 20% sind (Seiler et al., 2021).

Deutlich wird, dass die in der Basisarbeit vorliegenden ungünstigen Beschäftigungsmerkmale mit einem höheren Erkrankungsrisiko einhergehen. Dabei treten insbesondere Muskel-Skelett-Beschwerden häufiger in der Basisarbeit auf, während psychosomatische Beschwerden in allen Anforderungsniveau in etwa gleich häufig vertreten sind (Kaboth et al., im Druck). Ziel muss es sein, die Gesundheit der Basisarbeitenden zu fördern. Gemäß des Arbeitsanforderungen-Arbeitsressourcen-

Modells (Demerouti & Nachreiner, 2019) ergeben sich zwei Möglichkeiten zur Förderung der Gesundheit: (1) Reduktion von Anforderungen und (2) Förderung von Ressourcen. Im Folgenden werden Befunde zu den Anforderungen und Ressourcen in der Basisarbeit vorgestellt.

2. Anforderungen in der Basisarbeit

Physische Anforderungen manifestieren sich in unterschiedlichen Formen und Ausprägungen. So erleben 23% der Basisarbeitenden langes Stehen, 17% das Heben und Tragen schwerer Lasten, 10% Zwangshaltungen und 9% langes Sitzen als belastend (s. Abb. 1, angelehnt an Brenscheidt et al., 2023).

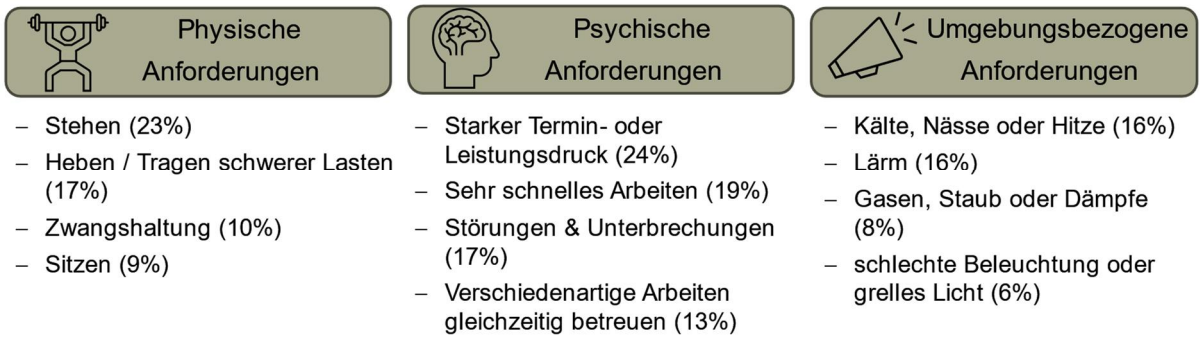


***Abbildung 1**: Anteil der Basisarbeitenden der die genannte Anforderung als belastend empfindet (Brenscheidt et al., 2023).*

Die *psychischen Anforderungen* sind in der Basisarbeit ebenfalls beträchtlich. So geben 24% der Basisarbeitenden an, sich durch einen starken Termin- oder Leistungsdruck belastet zu fühlen. Weiterhin fühlen sich 19% durch sehr schnelles Arbeiten, 17% durch Störungen und Unterbrechungen und 13% durch das gleichzeitige Betreuen verschiedenartiger Arbeiten belastet (Brenscheidt et al., 2023). Zudem verrichten mehr als 80% der Basisarbeitenden Dienstleistungstätigkeiten, häufig als Interaktionsarbeit, also mit oder an anderen Menschen. Dies kann zu positiven Effekten, wie soziale Unterstützung, aber auch zu erhöhten Anforderungen an Emotionsarbeit führen, z. B. bei unhöflichen oder aggressiven Kunden, anspruchsvollem Verhalten von Kindergartenkindern oder Patient*innen in der Pflege (Wehrmann & Rösler, 2025). Dies ist psychisch belastend und kann langfristig zu emotionaler Erschöpfung und Burnout führen.

Darüber hinaus spielen auch *umgebungsbezogene Anforderungen* wie Lärm, extreme Temperaturen, Zugluft, Nässe oder Sonneneinstrahlung eine Rolle in der Basisarbeit. Einen Überblick zu den Anforderungen gibt Abb. 1. Weitere Angaben zu Anforderungen und Ressourcen finden sich auch in Kaboth et al. (im Druck).

3. Ressourcen in der Basisarbeit und die Rolle der Führungskraft

Angelehnt an die Selbstbestimmungstheorie (Ryan & Deci, 2000) lassen sich drei Dimensionen an Ressourcen unterscheiden: Kompetenz, Autonomie und Soziale Eingebundenheit.

Für Basisarbeitende ist das Erleben von *Kompetenz* häufig gering. Sie geben sehr

oft an, ihr Wissen und Können nicht entwickeln zu können, über wenig Weiterbildungsmöglichkeiten und kaum über Aufstiegsmöglichkeiten zu verfügen (Hall & Sevindik, 2020; Rump & Eilers, 2024). Die Führungskraft spielt eine zentrale Rolle bei der Förderung des Kompetenzerlebens. Sie kann dazu anregen, dass Herausforderungen selbstständig gelöst werden. Sie kann auch das arbeitsintegrierte Lernen fördern, durch eine Erweiterung des Aufgabenbereichs (angelehnt an Job Enrichment) oder das Setzen von Lernimpulsen sowie durch die Einführung neuer Arbeitsmittel (Richter et al., 2020). Wichtig ist, dass die Führungskraft im Austausch mit ihren Mitarbeitenden feststellt, ob ein Bedürfnis nach mehr Kompetenzerleben vorhanden ist und auf welchem Wege dies gestärkt werden kann.

Autonomie wird auch als Handlungs- und Entscheidungsspielraum bezeichnet. Brenscheidt et al. (2023) und Kaboth et al. (im Druck) stellen dar, dass Basisarbeitende über vergleichsweise geringe Autonomie verfügen. Sie können selten ihre Arbeit selbst planen und einteilen, die Arbeitsmenge nur wenig beeinflussen und seltener über ihre Pausen entscheiden. Autonomie kann durch Partizipation erhöht werden, bspw. indem der Dienstplan gemeinsam abgestimmt wird. Weitere Möglichkeiten umfassen die Entscheidungsfreiheit über Pausen, die Wahl von Arbeitsmitteln oder neuen Technologien. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass in der Basisarbeit zu viel Autonomie möglicherweise auch zu negativen Effekten führen kann (Kaboth et al., 2024). Dass Ausmaß an Autonomie muss daher gut begleitet und in Kombination mit vorliegenden Arbeitsanforderungen austariert werden.

Soziale Eingebundenheit meint die Einbindung in ein Team sowie die gesellschaftliche Anerkennung der geleisteten Arbeit. Empirische Befunde zeigen, dass Basisarbeitende tendenziell weniger soziale Unterstützung von Kolleg*innen erfahren als Fachkräfte oder Hochqualifizierte. Das Ausmaß an Unterstützung durch Vorgesetzte wird jedoch als gleich hoch wahrgenommen (Brenscheidt et al., 2023, Kaboth et al., im Druck). Zudem muss die Anerkennung, die Basisarbeitende im Betrieb, in der Gesellschaft und in der Politik erfahren, als nicht ausreichend beurteilt werden (Rump & Eilers, 2024; Wind, 2022). Zur Förderung der sozialen Einbindung sollte die Führungskraft den Austausch und die Zusammenarbeit im Team aktiv fördern. Sie sollte in den regelmäßigen Austausch mit den Beschäftigten gehen sowie Hilfestellung und Unterstützung anbieten. Dabei geht es nicht nur um fachliche Unterstützung, sondern auch um soziale Anerkennung und Wertschätzung der geleisteten Arbeit (weitere Maßnahmen wurden im Projekt ORBiT des BGF erarbeitet).

Zusammenfassend wird deutlich, dass die Führungskraft eine zentrale Rolle bei der Förderung von Ressourcen spielt. Es geht vor allem darum, im Gespräch mit den Basisarbeitenden zu ermitteln, ob und wo Bedarfe bestehen und wie diese gedeckt werden können. Hierbei ist eine offene, transparente Kommunikation von Bedeutung.

4. Übertragung der Erkenntnisse auf stark belastete Berufsgruppen

Im Folgenden werden Thesen aufgestellt, welche Handlungsempfehlungen, die sich im Rahmen der Forschung zur Basisarbeit ergeben haben, auf weitere stark belastete Berufsgruppen übertragen werden können.

- *Fokus auf Dienstleistungstätigkeiten:* Mehr als 80% als Basisarbeitenden verrichten Dienstleistungstätigkeiten und arbeiten daher häufig mit oder an anderen Menschen. In der Dienstleistung ist von Mischtätigkeiten auszugehen, die eine Kombination aus physischen, psychischen, umgebungsbezogenen und organisationsbezogenen Anforderungen beinhalten und zu hohen Bean-

spruchungen führen (Brombach, 2026; Lück et al., 2023). Es ist davon auszugehen, dass auch ein Großteil der stark belasteten Berufsgruppen im Dienstleistungsbereich tätig ist.

- *Fokus auf psychische Anforderungen und Ressourcen:* Körperliche Belastungen sind häufig bereits gut erfassbar, vor allem im Produktionsbereich. Schwieriger wird die Erfassung von psychischen Anforderungen und Ressourcen, insbesondere im Dienstleistungsbereich, obwohl sie häufig gemeinsam auftreten (Wind, 2025) und zu gravierenden Beanspruchungs-folgen führen. Stark belastete Berufsgruppen zeichnen sich nicht nur durch körperliche Belastungen, sondern häufig durch eine Kombination verschiedener Belastungsarten aus, von denen die psychischen Anforderungen besonderer Aufmerksamkeit bedürfen.
- *Fokus auf KMU:* Ein Großteil der Basisarbeit erfolgt in KMUs (Rump & Eilers, 2024). Es ist davon auszugehen, dass auch weitere stark belastete Berufsgruppen in KMUs anzutreffen sind. Dementsprechend braucht es anwendungsorientierte, niedrigschwellige und einfache Verfahren zur Diagnose von Gefährdungen und Maßnahmenentwicklung. Beispielhaft für ein gelungenes Instrument sei hier der EVALOG genannt (Prümper & Vowinkel, 2019), der auf dem KFZA basiert.
- *Fokus auf Führungskräfte:* Zur Reduktion von Anforderungen und Förderung von Ressourcen bedarf es eines integrativen Vorgehens mit Maßnahmen auf individueller, organisationaler und gesellschaftlicher Ebene (Geister, im Druck). Führungskräften kommt bei der Verbesserung der Arbeitsbedingungen eine besondere Rolle zu (s. auch Burr al., 2025; Richter et al., 2020). Auch für stark belastete Berufsgruppen braucht es Führungskräfte, die in einem partizipativen Prozess das Vorhandensein von Anforderungen und Ressourcen ermitteln und gemeinsam mit den Beschäftigten Verbesserungsmaßnahmen entwickeln.

Abschließend sei erwähnt, dass die Handlungsempfehlungen nur einen Ausschnitt darstellen. Zentral ist die Verankerung des Themas Gesundheit in Unternehmen. Für Basisarbeitende und weitere stark belastete Berufsgruppen sind Anforderungen und Ressourcen derzeit schwer zu erfassen. Es braucht daher einfache Screening-Verfahren und partizipative Methoden, um Maßnahmen zur Sicherstellung gesundheitsförderlicher Arbeitsbedingungen abzustimmen und dauerhaft im Unternehmen umzusetzen.

5. Literatur

Brenscheidt, S., Siefer, A., Hünefeld, L., Backhaus, N., Halke, T., Lück, M., Kaboth, A., Möller, H. & Teborg, S. (2023). Arbeitswelt im Wandel: Zahlen – Daten – Fakten. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA).

Brombach, J. (2026). Mischarbeit - Beitrag zur Systematisierung verschiedener Belastungen. Beiträge zum GfA-Kongress 2026.

Bundesagentur für Arbeit (2026). Beschäftigungsstatistik: Beschäftigte nach Berufen. Stichtag 01.06.2025. Abgerufen am 08.01.2026.

Bundesagentur für Arbeit (2024): Migrationsmonitor (Monatszahlen). August 2024. Statistik der Bundesagentur für Arbeit. Abgerufen am 04.10.2024

Bundesanstalt für Gesundheitsförderung BGF (2023). Gesundheitsbericht Basisarbeitende 2023: Auswertung von Arbeitsunfähigkeitsdaten der AOK-versicherten Beschäftigten im Rheinland und in Hamburg. https://www.bgf-insti-tut.de/fileadmin/redaktion/downloads/gesundheitsberichte/aktuelle_Gesundheitsberichte/ 2023/BGF_Gesundheitsbericht_Basisarbeitende_2023.pdf, abgerufen am 09.01.2026

Burr, H., Kersten, N., Sørensen, K., Sørensen, J. K., Dalsager, L., Madsen, I.E.H. et al. (2025): A comparison among employees in Germany and Denmark of associations between quality of

leadership and subsequent 5-year development of mental distress. In: Scientific reports 15 (1), S. 7802. DOI: 10.1038/s41598-025-92650-0.

Demerouti, E. & Nachreiner, F. (2019). Zum Arbeitsanforderungen-Arbeitsressourcen-Modell von Burnout und Arbeitsengagement – Stand der Forschung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 73(2), 119–130.

Geister, S. (im Druck). Gesundheit im Fokus: Belastungen und Ressourcen in der Basisarbeit. In: Arbeitsgestaltung und Arbeitsbewertung für Dienstleistungs- und Basisarbeit. Erich Schmidt Verlag.

Geister, S. & Lehmann, V. (2025a). Faktencheck Basisarbeit: Beschäftigte und Beschäftigungsmerkmale. Programm Arbeit: Sicher + Gesund des BMAS. https://www.arbeit-sicher-und-gesund.de/fileadmin/PDFs/Basisarbeit/Monitore/ASUG_Monitor_Basisarbeit_Faktencheck_Basisarbeit.pdf, abgerufen am 09.01.2026

Geister, S. & Lehmann, V. (2025b). Gesundheitscheck Basisarbeit: Gesundheit, Belastungen und Ressourcen. Programm Arbeit: Sicher + Gesund des BMAS. https://www.arbeit-sicher-und-gesund.de/fileadmin/PDFs/Basisarbeit/Monitore/ASUG_Monitor_Basisarbeit_Gesundheitscheck.pdf, abgerufen am 09.01.2026

Hall, A. & Sevindik, U. (2020). Einfacharbeit in Deutschland - wer arbeitet was und unter welchen Bedingungen? Ergebnisse aus der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018. Verlag Barbara Budrich (Wissenschaftliche Diskussionspapiere, Heft 218). Online verfügbar unter https://www.bibb.de/veroeffentlichungen/de/publication/show/16577

Informationsdienst des Instituts der deutschen Wirtschaft (2026). Krankentage nach Anforderungsniveau im Jahr 2023 je beschäftigtes Mitglied der Betriebskrankenkassen. https://www.iwd.de/artikel/krankenstand-in-deutschland-498654/#das-anforderungsniveau, abgerufen am 13.01.2026

Kaboth, A., Hünefeld, L. & Lück, M. (2024). Exploring work ability, psychosocial job demands and resources of employees in low-skilled jobs: a German cross-sectional study. Journal of occupational medicine and toxicology. 19 (1), DOI: 10.1186/s12995-024-00429-2

Kaboth, A., Hünefeld, L. & Lück, M. (im Druck). Zwischen körperlicher Belastung und psychischer Anforderung: Basisarbeit im Dienstleistungssektor. In: Arbeitsgestaltung und Arbeitsbewertung für Dienstleistungs- und Basisarbeit. Erich Schmidt Verlag.

Lück, M., Hünefeld, L. & Kaboth, A. (2023). Arbeitsbedingungen und gesundheitliche Beschwerden in Basisarbeit: Eine sektorübergreifende Untersuchung im Dienstleistungsbereich. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft https://doi.org/10.1007/s41449-023-00393-3

Prümper, J. & Vowinkel, J. (2019). *EVALOG – Evaluierung psychischer Belastung im Dialog nach dem österreichischen ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG) für Kleinstbetriebe.* AUVA: Wien.

Richter, G., Ribbat, M. & Mühlenbrock, I. (2020). Lernförderliche Arbeitsgestaltung im Dienstleistungssektor am Beispiel der Sachbearbeitung: Die doppelte Rolle der Führungskraft. DOI: 10.21934/baua:fokus20191127

Rump, J. & Eilers, S. (Hg.) (2024). Neue Perspektiven auf Basisarbeit: Status Quo, Einflussfaktoren und Handlungsansätze. Springer.

Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being. American Psychologist, 55(1), 68–78. https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68

Seibert, H., Schwengler, B. & Wiethölter, D. (2022). Berufsspezifische Lohnunterschiede: In einigen Helferjobs verdienen Fachkräfte mehr als in ihrem erlernten Beruf. IAB-Kurzbericht 14/2022. IAB.

Seiler, K., Krauss-Hoffmann, P., & Brauner, C. (2021). Arbeits- und Gesundheitsschutz bei Basisarbeit. Erkenntnisse aus den Beschäftigtenbefragungen NRW. In A. Große-Jäger, R. Hauser, O. Lauenstein, J. May-Schmidt, M. Merfert, F. Stiegler & B. Zwingmann (Hrsg.), Basisarbeit: Mittendrin und außen vor (S. 292-307). Synergie VertriebsDienstleistung GmbH.

Wehrmann, J. & Rösler, U. (2025). Interaktionsarbeit – Herausforderungen für eine menschengerechte Gestaltung. In Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.), Gefährdungen durch psychische Belastungen bei der Arbeit vermeiden. Erich Schmidt Verlag.

Wind, T. (2022). „Und dann will man nicht ständig jeden Cent umdrehen müssen ...“. In: Weiterdenken. Diskussionspapier des Landesbüro NRW der Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn. https://library.fes.de/pdf-files/bueros/nrw/19111.pdf. abgerufen am 14.01.2026

Wind, T. (2025). Qualitative Sekundäranalyse. Belastungserfahrungen körperlich stark belasteter Berufsgruppen. Institut für Zielgruppenkommunikation.

Gestaltung XR-gestützter Arbeitssysteme durch Ressourcen- und Belastungsanalysen zielgerichtet vorbereiten

Michael BAU, Andrea ALTEPOST, Karen WACHHOLZ
ILAG Institut Leistung Arbeit Gesundheit
Hipperstraße 5, D-24306 Plön

Kurzfassung: Im Projekt ERTRAG soll Extended Reality (XR)-Technologie verbesserte Interaktion und Kommunikation in Entwicklung, Vertrieb und Verwendung von Medizinprodukten ermöglichen. Das Projektteam entwickelt die neuen Arbeitssysteme in einem partizipativen Vorgehen gemeinsam mit den Mitarbeitenden. Am Beginn steht eine arbeitswissenschaftliche Analyse der Ressourcen und Belastungen der Zielgruppen, damit deren Expertise und Bedürfnisse hinsichtlich der zukünftig durch XR unterstützten Arbeitsbedingungen in den Innovationsprozess der Technikentwicklung mit einfließen. Es sollen Erkenntnisse gewonnen werden darüber, welche Faktoren zu berücksichtigen sind, damit aus der (objektiven) Belastung keine (subjektive) Beanspruchung wird und vorhandene Ressourcen ausgebaut werden. Erste Ergebnisse der Ressourcen- und Belastungs-Analysen sowie daraus abgeleitete Konsequenzen für die Arbeitssystemgestaltung werden im Beitrag vorgestellt und in das Partizipationskonzept eingeordnet.

Schlüsselwörter: Belastung, Beanspruchung, Ressourcen, XR-Technologie, Medizintechnik, Partizipation

1. Einführung

Im Projekt ERTRAG („Extended Reality für die Transformation der Arbeit in der Gesundheitswirtschaft“) werden hochwertige räumliche Extended Reality (XR)-Interaktionsmöglichkeiten entwickelt mit dem Ziel, eine verbesserte Interaktions- und Kommunikationsmöglichkeit der Akteure durch eine der Präsenzerfahrung nahekommende Begutachtung von Medizinprodukten zu ermöglichen. Zwei grundlegende technische Use Cases spannen den technischen Möglichkeitsraum für verschiedene Anwendungen der XR-Technologie entlang der Entwicklung, Einführung und Nutzung eines orthopädischen Implantats und des zugehörigen Instrumentensets auf. Use Case 1 sieht einen „Remote Mixed Reality Show-Room“ mit digitalen Zwillingen der Produkte vor, der mit handelsüblichen mobilen Geräten im Alltag getestet werden kann. In Use Case 2 verknüpft ein „Hands-On Tangible Tracking" Prototyp ein digitales Modell nahtlos mit dem realen Objekt und macht es damit praktisch „greifbar". Rund um diese grundlegenden technischen Optionen werden partizipativ, also gemeinsam mit potenziellen Nutzenden, Anwendungsszenarien erarbeitet und prototypisch umgesetzt. Am Beginn steht eine arbeitswissenschaftliche Analyse der Ressourcen und Belastungen der Zielgruppen im Projekt mittels Vorstufen-Interviews mit Führungskräften und Mitarbeitenden-Vertretung sowie moderierten Mitarbeitenden-Workshops. Damit fließen nicht nur die Bedürfnisse der Mitarbeitenden hinsichtlich veränderter Arbeitsbedingungen im Zuge des Technikeinsatzes in den Innovationsprozess der Technikentwicklung mit ein, so dass neue Belastungen im veränderten Arbeitssystem vermieden werden. Die Auswahl der

Anwendungsszenarien bietet zudem die Gelegenheit, ausgehend von den gegebenen Arbeitsprozessen den Umgang mit zentralen persönlichen Ressourcen wie z. B. Zeit und Gesundheit besser zu gestalten.

2. Methodik

Methodisch orientiert sich das Vorgehen an einem ganzheitlichen Ansatz nach dem MTO-Prinzip (Strohm & Ulich, 1997; Ulich, 2013), demzufolge mensch-, technik- und organisationsbezogene Aspekte des Arbeitssystems (VDI e. V., 2024) integriert analysiert und gestaltet werden, so dass insbesondere die Interaktionen zwischen diesen Bereichen Berücksichtigung finden. Ziele sind:

- Gewinnung von Erkenntnissen darüber, welche Faktoren zu berücksichtigen sind, damit aus der (objektiven) Belastung keine (subjektive) Beanspruchung wird und vorhandene Ressourcen ausgebaut werden, und
- Einschätzung und Minimierung der Belastung durch XR-Systeme (u. a. durch partizipative Gestaltung, Qualifizierungskonzepte und Berücksichtigung differenter Nutzenden-Gruppen).

2.1 Partizipationskonzept

Die Entfaltung des technischen Möglichkeitsraums durch die o. g. Use Cases impliziert noch nicht, welche konkreten Einsatzmöglichkeiten (Anwendungsszenarien) die Vertretenden der Zielgruppen für relevant halten, welche Anwendung durch welchen Use Case am besten dargestellt werden kann und wie diese ausgestaltet und mit organisations- und personenbezogenen Aspekten verknüpft werden soll. Die Identifikation solcher Anwendungsszenarien ist daher Bestandteil der Partizipation von Beginn an. Dabei werden beim Medizinprodukte-Hersteller Mitarbeitende der Bereiche „Forschung und Entwicklung“ (R&D) und Vertrieb, beim Universitätsklinikum Ärzt:innen und Operationstechnische Assistent:innen (OTA) partizipativ einbezogen, um gemeinsam Belastungsfaktoren zu erkennen und Lösungsvorschläge für die zukünftige Gestaltung der Arbeit zu entwickeln. Die Belastungs- und Ressourcenanalyse (RBA) liefert erste, zentrale Bedarfe der beteiligten Mitarbeitenden für ihre Arbeitsgestaltung. Bau und Altepost (2023) folgend, ist sie eingebettet in ein Partizipationskonzept, das in verschiedenen aufeinanderfolgenden Formaten die Anforderungen an das Arbeitssystem aus den Bereichen Mensch, Technik und Organisation und ihren Wechselwirkungen gemeinsam mit den Mitarbeitenden erarbeitet und in eine soziotechnische Lösung überführt, die in mehreren Iterationen in einem Reallabor-ähnlichen Setting – dem Arbeitssystemtest (vgl. Altepost et al., 2026) – erprobt und evaluiert wird. Tabelle 1 fasst die Partizipationsaktivitäten bis zum ersten Arbeitssystemtest zusammen; vgl. auch Olbert-Bock et al. (2026) zur Systematisierung des Partizipationskonzepts in ERTRAG hinsichtlich zentraler Partizipationsmerkmale und -ziele.

Zur RBA zählen Vorstufen-Interviews und Moderierte Mitarbeitenden-Workshops, die im folgenden Abschnitt näher beschrieben werden. Auf die weiteren Partizipationsaktivitäten gehen wir in Abschnitt 3.4 am Beispiel der OTAs ein.

Tabelle 1: *Partizipationsaktivitäten Projekt ERTRAG bis zum Arbeitssystemtest.*

Beteiligungsformat	Ziel	Teilnehmende
Partizipatives Brainstorming	Erste Ideengenerierung für Anwendungsszenarien	Mitarbeitende aus Zielgruppen (gemeinsam)/ je 1-2 Personen
Vorstufen-Interviews	Vorbereitung Belastungs- und Ressourcenanalyse	Führungskräfte der Zielgruppen, Mitarbeitenden-Vertretung
Moderierte Mitarbeitenden-Workshops	Belastungen/Ressourcen Digitale Kompetenzen Anwendungsszenarien	Mitarbeitende aus Zielgruppen (je Zielgruppe)
Arbeitsbeobachtung/ Beobachtungsinterviews	Arbeitsprozesse Status quo	2-3 Mitarbeitende der relevanten Szenarien (je Zielgruppe)
MTO-Workshops	Vom Status quo zum neuen Arbeitsprozess	2-3 Mitarbeitende der relevanten Szenarien (je Zielgruppe)
Partizipatives Requirements Engineering	Konkretisierung der Anforderungen an techn. Prototypen	2-3 Mitarbeitende der relevanten Szenarien (je Zielgruppe)
Arbeitssystemtest	Testung technischer Prototyp und Arbeitsprozess	Mitarbeitende der relevanten Szenarien (je Zielgruppe)

2.2 Ressourcen- und Belastungsanalyse (RBA)

Die RBA ist Bestandteil einer umfassenden Ist-Analyse, die das ILAG bei den Anwendungspartnern, einem Hersteller von Medizinprodukten und einer Universitätsklinik, durchführt. Nach Einbindung und Zustimmung der Personalvertretungen sieht der erste Schritt der RBA Vorstufen-Interviews mit Führungskräften und Personalvertretenden vor. Die Ergebnisse dienen der Vorbereitung von Workshops, in denen im zweiten Schritt allgemeine und spezifische Belastungs- und Ressourcenaspekte mit der jeweiligen Mitarbeitenden-Zielgruppe besprochen werden. Thematische Schwerpunkte der Interviews und Workshops sind die Beurteilung der Arbeitsorganisation und Zusammenarbeit mit Stakeholdern, Mitarbeiterführung und soziale Beziehungen im Team, Veränderungsprozesse und Unternehmenskultur sowie das Interesse an Technikgestaltung. Befragungen zur Technikaffinität (TA-EG, Karrer-Gauß et al., 2024) und subjektiven Belastung (leicht modifizierte Fassung des NASA-TLX, Hart & Staveland, 1988) runden die RBA ab.

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Präsenzdiskussionen

Die Ergebnisse der Mitarbeitenden-Workshops beim Medizinprodukte-Hersteller zeigen deutlich: Die offene und ehrliche Kommunikation, gegenseitige Wertschätzung, der Teamzusammenhalt sowie die Hilfsbereitschaft zählen zu den Ressourcen. Die Mitarbeitenden mögen ihre Arbeit in den jeweiligen Bereichen und identifizieren sich stark mit dem Unternehmen. Sie empfinden sich als kompetent und haben eine hohe Leistungsbereitschaft. Dennoch gibt es auch Herausforderungen zu bewältigen, die nur teilweise in den eigenen Händen liegen: Der internationale Konzern wächst stetig, mit ihm der Workflow und die Zielvorgaben. Umsatzziele und Entscheidungen auf der Basis von Wirtschaftlichkeit bringen Veränderungen in der Unternehmensstruktur. Äußere Faktoren wie Marktregulationen z.B. durch die Krankenhausreform wirken sich erschwerend aus. Eine angestrebte exzellente und vertrauensvolle Zusammenarbeit

mit Stakeholdern erfordert hohe Flexibilität, Reisebereitschaft und präzise Einhaltung von Terminen und Fristen. Mitarbeitende sehen Chancen in einer Entlastung durch geeignete technische Tools, die den Bedürfnissen angepasst, mit gängigen Systemen kompatibel und intuitiv anwendbar sind. Erleichterung wären für die Bereiche der Dokumentation und Zusammenfassung, zur Überprüfung und Kontrolle sowie zur Darstellung von 3D-Modellen von Medizinprodukten denkbar. Auch die Mitarbeitenden des Universitätsklinikums benennen als entlastende Faktoren die gute interprofessionelle Zusammenarbeit, ebenso wie starken Teamzusammenhalt, die Führungskompetenzen, die Hilfsbereitschaft und die Hausstandards, die die Arbeitsabläufe vereinfachen. Das Arbeitsumfeld „(Unfall-) Klinik“ bringt aufgabenbedingt – aber auch durch gesetzliche Vorgaben – Herausforderungen mit sich. Zeitdruck, Stress, körperliche und geistige Anstrengungen beim Arbeiten im OP und am Patienten, Platzmangel durch benötigte technische Geräte ebenso wie aufwändige und lückenlose Dokumentationen beim Einbau von Implantaten sind hier zu nennen. Chancen werden auch hier in einer technischen Unterstützung in Form von Kontrollsystemen, XR-Anwendungen, durch körperliche Entlastung (z.B. schweres Heben und Lagern) und bei der Dokumentation gesehen.

3.2 Ergebnisse der Befragungen TA-EG und NASA-TLX (OTAs Universitätsklinikum)

Wir konzentrieren uns in diesem Beitrag aus Platzgründen auf die Ergebnisse der standardisierten Befragungen für die OTAs des Universitätsklinikums. Die Befragung durchliefen 32 Teilnehmende, davon 28 Frauen und vier Männer. 44% der Befragten waren unter 29, rund 66% unter 39 Jahren alt. 37,5% hatten unter fünf Jahren Berufserfahrung, 44% fünf bis unter 20 Jahre. Für den NASA-TLX wurde eine Skala von 0 (keine bzw. niedrigste Beanspruchung) bis 20 (höchste Beanspruchung) angelegt. Abbildung 1 zeigt die arithmetischen Mittel der Einzelitems. Demzufolge liegen die größten Beanspruchungen bei der Arbeit der OTAs im geistigen (16.688) und körperlichen (16.469) Bereich, gefolgt von hohem Zeitdruck (14.594) und Stress (11.625). In einem recht hohen Maß – Durchschnittswerte liegen knapp unter 16 - erleben sich die Mitarbeitenden als erfolgreich und sind mit ihrer Leistung zufrieden.

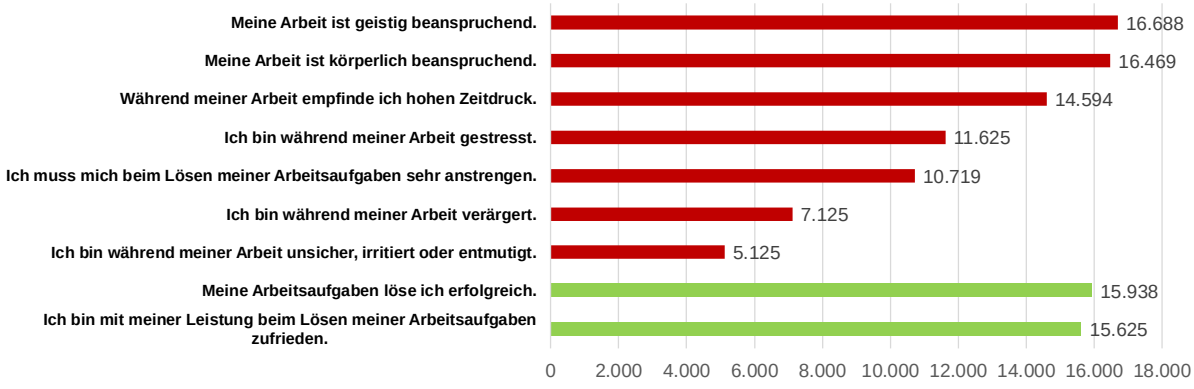


Abbildung 1: *Subjektive Belastung (NASA-TLX, 0=trifft gar nicht zu; 20=trifft voll zu).*

Mittels TA-EG-Fragebogen wurde die Technikaffinität der Teilnehmenden (Likert-Skala von von 0 (trifft gar nicht zu) bis 4 (trifft voll zu)) erfasst. Dabei zeigen sich hohe Zustimmungswerte, dass elektronische Geräte den Alltag der Befragten erleichtern (3.219) und es den Teilnehmenden Spaß macht, elektronische Geräte auszuprobieren (3.065). Die Bedienung eines elektronischen Gerätes zu erlernen, fällt den OTAs eher

leicht (2.813). Mögliche Nachteile – Stress, „geistige Verarmung“ – werden durchaus gesehen; fast alle Vorteile werden aber im Durchschnitt höher bewertet (Abbildung 2).

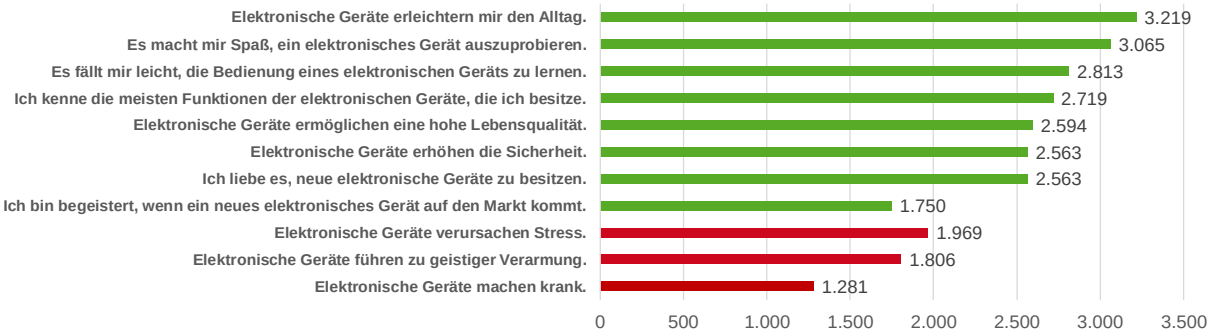


Abbildung 2: *Technikaffinität (TA-EG, 0=trifft gar nicht zu; 4=trifft voll zu.*

3.4 Umsetzung der Ergebnisse

Die Belastungsanalyse offenbart, wo Mitarbeitende Wünsche und Bedürfnisse im jeweiligen Arbeitssystem sehen. Im weiteren partizipativen Prozess entschieden sich die OTAs für das Anwendungsszenario „Tray-Überprüfung“, in dem XR dabei unterstützen wird, die Verwendbarkeit von Instrumentensets für den OP zu überprüfen, ohne sie zu öffnen und damit unsteril zu machen. Damit kann die körperliche Belastung durch das Tragen der schweren Metallcontainer reduziert werden, da diese nicht mehr vergeblich in den OP getragen werden, wo sich dann herausstellt, dass sie verschmutzt, unvollständig oder aus sonstigen Gründen nicht verwendbar sind. Der Arbeitsprozess wurde im Rahmen eines MTO-Workshops (Bau & Altepost, 2023; Hansen-Ampah et al., 2023) detailliert aufgenommen und mit Gestaltungsanforderungen technischer, organisatorischer und personenbezogener Art verbunden. Nächster Schritt ist die „Übersetzung“ der technischen Anforderungen in einer Weise, die eine Programmierung ermöglicht. Nach Entwicklung eines ersten technischen Prototypen werden die Mitarbeitenden diesen im Rahmen eines Arbeitssystemtests erproben und ihr Feedback für weitere Iterationen geben.

4. Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse der Belastungs- und Ressourcenanalyse bei den OTAs einer Universitätsklinik weisen eine hohe physische und psychische subjektive Belastung, dabei insgesamt wenig Handlungsspielraum und Entwicklungsperspektive auf. Soziale Faktoren – sowohl das kollegiale Miteinander im Team als auch die Unterstützung der Führungskräfte – federn einen erheblichen Teil der Belastungen ab. Zusätzlich sollten jedoch strukturelle Entlastungsmechanismen geschaffen werden. Dazu gehört zunächst, die Belastungen dort zu mindern, wo sie entstehen, etwa – wie am Beispiel der OTAs – die Reduzierung körperlicher Belastung durch Wegfall unnötiger Tragevorgänge. Zeitressourcen sind im Wirtschaftsunternehmen ebenso knapp wie in Einrichtungen des Gesundheitssektors. Gerade deshalb kann es sich aber langfristig auszahlen, eine Struktur für regelmäßigen Austausch zwischen organisatorischen Einheiten und Berufsgruppen zu haben. So fiel in der Analyse auf, dass es zwischen Ärzt:innen und OTAs sowie zwischen Anästhesie und Chirurgie unterschiedliche Sichtweisen und Konsequenzen hinsichtlich der Überleitungszeiten zwischen

Patient:innen im OP gibt, die der jeweils anderen Gruppe nicht bewusst waren. Wenngleich ERTRAG explizit mit dem MTO-Ansatz arbeitet, können im Projekt nicht alle Ansatzpunkte für Verbesserungen im Arbeitssystem adressiert werden; ein Beispiel dafür ist die umfangreiche Implantate-Dokumentation, die durch eine Schnittstelle zwischen bestehenden EDV-Systemen erleichtert werden soll. Der partizipative Ansatz des Projekts hat bereits durch die Befunde der Belastungs- und Ressourcenanalyse und die Generierung relevanter, aus der Expertise der Mitarbeitenden resultierender Anwendungsszenarien und Unterstützungsmöglichkeiten wie dem der Tray-Überprüfung hohen Nutzen erbracht. Alle teilnehmenden Führungskräfte und Mitarbeitende bei beiden Anwendungspartnern bewiesen hohe Bereitschaft, sich auf XR-Potenziale einzulassen und Ideen mitzuentwickeln, wie diese zur Entlastung und zur Verbesserung der Arbeitsergebnisse beitragen können. Dazu passt das sehr positive Feedback der Teilnehmenden zu den bislang durchgeführten Workshops, so dass wir empfehlen, diese Ressourcen zu nutzen und im Zuge der Organisationsentwicklung explizite Strukturen für die Reflektion und Partizipation zu Veränderungsprozessen einzubauen.

5. Literatur

Altepost, A., Hansen-Ampah, A., & Bau, M. (2026). Arbeit. System. Test. Popup-Reallabore als Konsequenz des MTO-Ansatzes – Entwicklung eines Konzepts für Arbeitssystemtests. *Menschengerechte Arbeitsgestaltung*. GfA-Frühjahrskongress 2026, Kassel, Sankt Augustin.

Bau, M., & Altepost, A. (2023). *MTO und PBA als integraler Transformationsansatz* (No. 3; ILAG Working Papers).

Hansen-Ampah, A., Altepost, A., & Merx, W. (2023). *There is more to the picture than meets the AI: Using MTO to shape and implement AI in textile production*. Aachen-Dresden-Denkendorf International Textile Conference 2023, Dresden.

Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology* (Bd. 52, S. 139–183). Elsevier.

Karrer-Gauß, K., Roesler, E., & Siebert, F. W. (2024). Neuauflage des TAEG Fragebogens: Technikaffinität valide und multidimensional mit einer Kurz- oder Langversion erfassen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, *78*(3), 387–406. https://doi.org/10.1007/s41449-024-00427-4

Olbert-Bock, Bau, M., Altepost, A., & Hansen-Ampah, A. (2026). Partizipationslandkarte – Systematisierung von Anlässen organisationaler Gestaltung. *Menschengerechte Arbeitsgestaltung*. GfA-Frühjahrskongress 2026, Kassel, Sankt Augustin.

Strohm, O., & Ulich, E. (Hrsg.). (1997). *Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten. Ein Mehr-Ebenen-Ansatz unter besonderer Berücksichtigung von Mensch, Technik und Organisation*. vdf Hochschulverlag AG.

Ulich, E. (2013). Arbeitssysteme als soziotechnische Systeme–eine Erinnerung. *Journal Psychologie des Alltagshandelns*, *6*(1), 4–12.

VDI e. V. (2024). *VDI/VDE-MT 7100 Lernförderliche Arbeitsgestaltung*.

Danksagung: Das Projekt ERTRAG „Extended Reality für die Transformation der Arbeit in der Gesundheitswirtschaft“ (Förderkennzeichen 02L23B070) wird im Rahmen des Programms „Zukunft der Wertschöpfung“ durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt und die Europäische Union über den Europäischen Sozialfonds Plus (ESF Plus) gefördert und durch den Projektträger Karlsruhe betreut. Wir danken allen Projektpartnern.

Mit DiCoLab digitale Kollaboration gestalten: Vom konzeptuellen Modell zur digitalen Plattform für internationale Zusammenarbeit von KMU

Patrik FRÖHLICH[1], Janine ESSER[2], Stefan DIESTEL[1], Dominik LENZ[2], Florian FELDMANN[3], Justus VON GEIBLER[3]

[1] Bergische Universität Wuppertal
Gaußstrasse 20, D-42119 Wuppertal
[2] FGW Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e. V.
Papenberger Str. 49, D-42859 Remscheid
[3] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH
Döppersberg 19, D-42103 Wuppertal

Kurzfassung: Der vorliegende Beitrag stellt ein Faktorenmodell zur Förderung digitaler, internationaler Kollaboration von KMU (DiCoLab-Modell) und dessen Entwicklung im DiCoLab-Projekt dar. Dabei wird das partizipative, literatur- und praxisbasierte Vorgehen bei der Entwicklung des DiCoLab-Modells beschrieben, und die zentralen Einflussdimensionen zwischenbetrieblicher, innerbetrieblicher, teambezogener und individueller Faktoren werden erläutert. Das Modell dient als konzeptionelle Grundlage für eine digitale, modular aufgebaute Kollaborationsplattform. Hierzu wird ein Ausblick auf die weiteren Entwicklungsschritte im Projekt gegeben. Insgesamt wird eine wissenschaftlich fundierte, praxisnahe Orientierung geboten, um internationale Kollaboration in KMU resilienter, effizienter und nachhaltiger zu gestalten.

Schlüsselwörter: Digitalisierung, Lernen, Kollaboration, KMU, International

1. Einleitung

Die Globalisierung hat in den letzten Jahren zu einer zunehmenden Differenzierung und zu Abhängigkeiten der europäischen Wertschöpfungsketten geführt, mit einem Anstieg von Zuliefer*innen und einer Zunahme an Komplexität in den Lieferketten. Insbesondere durch die COVID-19-Pandemie wurde deutlich, dass diese Komplexität anfällig für Störungen sein kann (Gong et al., 2022). Zudem haben digitale Technologien in der Wirtschaft die Wertschöpfungskette verändert, u.a. durch den Einsatz von Automatisierungstechnik und künstlicher Intelligenz (KI) (Dash et al., 2019). Hierdurch erhöhen sich die Anforderungen an Fähigkeiten, Fertigkeiten und Qualifikationen der Mitarbeiter*innen in der Logistik und strategischen Kollaborationen, insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Um diese Herausforderungen zu bewältigen, bedarf es eines integrativen Verständnisses von internationaler Kollaboration, damit produzierende Unternehmen ihre Wertschöpfung resilienter gestalten können. Hierbei stellt sich die Frage: Wie können Kompetenzen für digitale, internationale Kollaboration bei KMU gefördert werden, und welche Faktoren sind hierbei besonders relevant?

Die Bearbeitung dieser Frage erfolgt im Forschungsprojekt „Digitale Kollaboration in internationalen Netzwerken: Eine Kompetenzplattform für produzierende

Unternehmen“ („DiCoLab“)[19]. Das Projekt wird von acht Partner*innen aus Forschung und Industrie bearbeitet und verfolgt das Ziel, eine prototypische Kollaborationsplattform (DiCoLab-Plattform) zu entwickeln und zu erproben, welche die Bedarfe international agierender, produzierender KMU fokussiert. Um hierzu eine inhaltliche Basis bezüglich der Faktoren für digitale, internationale Kollaboration bei KMU abzuleiten, wurde ein konzeptionelles Faktorenmodell entwickelt - das DiCoLab-Modell. Im Folgenden wird zunächst das Vorgehen zur Entwicklung des DiCoLab-Modell beschrieben, wonach die Darstellung des Modells und seiner wesentlichen Dimensionen und Faktoren als Zusammenfassung der ausführlichen Beschreibung (Fröhlich et al., 2025) erfolgt. Abschließend wird ein Fazit zur Bedeutung des Modells für die Gestaltung der internationaler, digitaler Kollaboration von KMU gezogen und es erfolgt ein Ausblick auf die anschließenden Schritte im Projekt DiCoLab.

2. Vorgehen bei der Entwicklung des DiCoLab-Modells

Das DiCoLab-Modell wurde als Faktorenmodell zur kompetenzförderlichen und nachhaltigen Gestaltung von kollaborativem Arbeiten und Lernen in internationalen Netzwerken entwickelt. Es erfasst konzeptionelle Anforderungen an internationale, digital gestützte Zusammenarbeit von KMU systematisch und dient als konzeptionelle Grundlage für die weitere Entwicklung der digitalen und modular aufgebauten DiCoLab-Plattform. Sowohl Modell als auch Plattform fokussieren auf die Bedarfe international agierender KMU, insbesondere produzierender KMU. Das Vorgehen bei der Modellentwicklung sowie im Gesamtprojekt folgt dabei der Logik eines partizipativen Prozesses ähnlich dem Living-Lab-Ansatze (Liedtke et al., 2015). Hierdurch werden Modell und Plattform gemeinsam mit KMU-Praxispartner*innen entwickelt, wobei diese als Co-Entwickler in die iterative Entwicklung und Validierung durch partizipative und agile Methoden eingebunden werden, um die Praxistauglichkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse sicherzustellen.

Die Entwicklung des DiCoLab-Modells erfolgte durch ein sowohl literaturbasiertes als auch praxisorientiertes Vorgehen, wodurch wissenschaftliche Erkenntnisse mit Erfahrungen international agierender KMU verbunden wurden. Um dies sicherzustellen, wurden vier Arbeitsschritte absolviert. Im ersten Schritt fanden parallel Analysen in drei zentralen Themenfeldern statt, welche auf Literaturrecherchen und Desk-Research basierten. Die drei Themenfelder umfassten a) technische Herausforderungen für die digitale, internationale Kollaboration (darunter Fragen der Systemintegration, der Datensicherheit sowie den Einsatz KI-basierter Assistenzsysteme und digitaler Plattformen) (Holgersson et al., 2024; Siemens, 2022), b) arbeits- und organisationspsychologische Einflussfaktoren der internationalen, digitalen Zusammenarbeit (z. B. Teamklima, psychologische Sicherheit und digitale Kompetenzen als Voraussetzungen gelingender Kollaboration; Anderson & West, 1998; Oberländer & Bipp, 2022), sowie c) auf internationale Kollaboration übertragbare Prinzipien und Erkenntnisse der Innovationsforschung (z. B. zu Open Innovation und Innovationsökosystemen, insbesondere kollaborative Innovationsstrategien von KMU sowie clusterbasierte Netzwerkstrukturen; Audretsch et al., 2023; Meireles et al., 2022; Terstriep & Lüthje, 2018; West, 2014). Die Ergebnisse der Analysen in den drei

[19] Dieses Projekt wird im Rahmen des Programms “Zukunft der Arbeit” durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) und die Europäische Union über den Europäischen Sozialfonds Plus (ESF Plus) gefördert. Das Autorenteam dankt den beteiligten Mitarbeiter*innen aus den Unternehmen und den anderen projektbeteiligten Institutionen für ihre Unterstützung.

Themenfelder wurden in einen gemeinsamen Bericht zusammengefasst. Im zweiten Schritt wurde dieser Bericht in einem co-kreativen Workshop mit Fokusgruppen der Praxispartner*innen aus den KMU im Projekt diskutiert und reflektiert. In einem dritten Schritt wurden anschließend die gesammelten Erkenntnisse in den Bericht eingearbeitet. Das hieraus entstehende DiCoLab-Modell erhielt folglich eine praxisorientierte und durch KMU mitentwickelte, konsistente inhaltliche Struktur. In einem abschließenden Validierungsworkshop wurde das Modell geprüft und mit den beteiligten Akteur*innen final abgestimmt, um eine sowohl empirisch fundierte als auch praxisnahe Ausgestaltung sicherzustellen.

3. Darstellung des DiCoLab-Modells

Insgesamt zeigte sich bei der Entwicklung des DiCoLab-Modells, dass erfolgreiche internationale digitale Kollaboration aus Forschungs- und Praxissicht vor allem durch ein Zusammenspiel von zwischenbetrieblichen, innerbetrieblichen, teambezogenen und individuellen Faktoren bestimmt wird. Diese bilden die vier zentralen Dimensionen des DiCoLab-Modells (vgl. Abbildung 1), welche nachfolgend als Zusammenfassung der ausführlicheren Darstellung von Fröhlich et al. (2025) beschrieben werden.

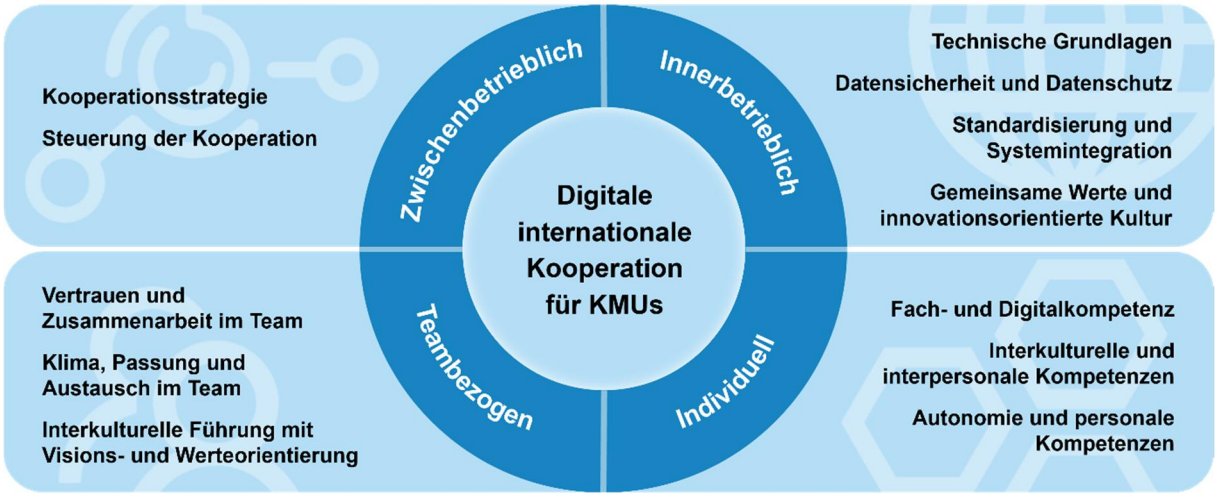


***Abbildung 1**: Das DiCoLab-Modell (Quelle: Fröhlich et al., 2025, S. 5).*

Zwischenbetriebliche Faktoren betreffen Aspekte der Kooperation zwischen Unternehmen und zielen auf die strategische Gestaltung internationaler Kooperationen ab. Eine klare Kooperationsstrategie umfasst dabei die Auswahl geeigneter Partner*innen, deren Integration, sowie den Austausch von Wissen und Ressourcen (Guimarães et al., 2021, Terstriep & Lüthje, 2018). Für die Steuerung der Kooperation sind darüber hinaus verlässliche Regeln, effiziente Abstimmungsprozesse und interkulturelle Sensibilität erforderlich, da Vertrauen zentral für erfolgreiche Kollaboration ist (West, 2014).

Innerbetriebliche Faktoren beziehen sich auf jene Aspekte innerhalb eines Unternehmens, welche die technische und organisatorische Basis digitaler Kollaboration bilden. Hierbei gewährleisten robuste IT- und Cloud-Infrastruktur, standardisierte Schnittstellen und integrierte Systeme reibungslose Abläufe in internationaler Zusammenarbeit (Dern, 2011; Siemens, 2022). Datensicherheit und Datenschutz sind darüber hinaus wichtige Faktoren, um eine Verschlüsselung und

Zugangsmanagement in Unternehmen bei der digitalen Zusammenarbeit sicherzustellen (Wächter, 2021). Insgesamt fördern gemeinsame Werte und eine innovationsorientierte Kultur langfristige Innovationsfähigkeit (Permantier et al., 2021).

Teambezogene Faktoren spiegeln soziale Prozesse und die Qualität der Zusammenarbeit in internationalen Teams wider. Vertrauen, klar definierte Rollen und ein angemessenes Maß an Autonomie fördern Koordination und Leistungsfähigkeit in digital zusammenarbeitenden Teams (Caligiuri, 2012, Purhonen, 2012), ebenso wie ein unterstützendes und durch Diversität, kulturelle Passung und aktiven Wissensaustausch geprägtes Teamklima (Anderson & West, 1998; Wang et al., 2018). Interkulturell kompetente, werte- und visionsorientierte Führung bietet bei internationaler Kollaboration Orientierung und stärkt die Zusammenarbeit über kulturelle und räumliche Grenzen hinweg (Rockstuhl et al., 2011; Liden et al., 2014).

Individuelle Faktoren und Kompetenzen umfassen Fähigkeiten, die Mitarbeiter*innen benötigen, um digitale internationale Kollaboration wirksam zu gestalten. Dabei unterstützen zunächst Fach- und Digitalkompetenzen den souveränen Einsatz digitaler Werkzeuge und die Vermittlung von Wissen (Oberländer & Bipp, 2022). Auch interkulturelle und interpersonale Kompetenzen wie Mehrsprachigkeit, Perspektivübernahme und kulturelle Sensibilität erleichtern die Zusammenarbeit über kulturelle Grenzen hinweg (Earley & Ang, 2003). Abschließend stärken Aspekte wie Autonomie, Selbstmanagement, Resilienz und flexible Anpassungsfähigkeit die persönliche Wirksamkeit in komplexen digitalen Arbeitsumgebungen (Rosing & Zacher, 2017) und unterstützen somit die internationale Kollaboration.

4. Fazit: Vom DiCoLab-Modell zur DiCoLab Plattform

Die Ergebnisse der bisherigen Projektarbeit verdeutlichen, dass die erfolgreiche Gestaltung internationaler digitaler Kollaboration für KMU weit über die bloße Bereitstellung einer technischen Infrastruktur hinausgeht. Mit dem DiCoLab-Modell liegt ein wissenschaftlich fundierter und zugleich praxisnah validierter Bezugsrahmen vor, der die Mehrdimensionalität dieser Herausforderung abbildet. Durch die Integration zwischenbetrieblicher, innerbetrieblicher, teambezogener und individueller Faktoren bietet das DiCoLab-Modell KMU eine systematische Orientierungshilfe, um die Komplexität internationaler Wertschöpfungsketten und Innovationsökosysteme zu bewältigen.

Die praktische Nutzbarmachung des DiCoLab-Modells erfolgt im weiteren Projektverlauf durch die technische Implementierung sowie die Erprobung des Prototypen der DiCoLab-Plattform. Der digital und modular aufgebaute Plattform-Prototyp soll es ermöglichen, kollaborative Arbeits- und Lernprozesse im Arbeitsalltag von KMU zu unterstützen. Im Projekt entwickelte Anwendungsszenarien (Use Cases) sollen dabei als Bindeglied dienen und die Übersetzung der Dimensionen und Aspekte des DiCoLab-Modells in konkrete funktionale Anforderungen für die Entwicklung des Plattform-Prototypen unterstützen. Der am Living-Lab-Ansatz orientierte iterative und partizipative Prozess ermöglicht es, früh im Entwicklungsprozess die praktischen Bedarfe der KMU einzubeziehen. Begleitend zum Entwicklungsprozess wird die Erprobung des Plattform-Prototypen in realen Anwendungskontexten evaluiert.

Auf dieser Grundlage soll die langfristige Entwicklung der DiCoLab-Plattform nicht nur ein technisches Werkzeug bereitzustellen, sondern eine nachhaltige Lösung etablieren, die KMU dazu befähigt, ihre internationale Zusammenarbeit resilienter,

effizienter und nachhaltiger zu gestalten. Damit soll das DiCoLab-Projekt einen wesentlichen Beitrag zur langfristigen Wettbewerbsfähigkeit von KMU in einer zunehmend digitalisierten Weltwirtschaft leisten.

5. Literatur

Anderson N R, West M A (1998) Measuring climate for work group innovation: Development and validation of the team climate inventory. Journal of Organizational Behavior 19:235–258.

Audretsch D B, Belitski M, Caiazza R, Phan P (2023) Collaboration strategies and SME innovation performance. Journal of Business Research 164:114018.

Caligiuri P (2012) Cultural agility: Building a pipeline of successful global professionals. Jossey-Bass, San Francisco.

Dash R, McMurtrey M, Rebman C, Kar U (2019) Application of artificial intelligence in automation of supply chain management. Journal of Strategic Innovation and Sustainability, 14(1), 43–53.

Dern G (2011) Integrationsmanagement in der Unternehmens-IT. Vieweg und Teubner Verlag, Wiesbaden.

Earley P C, Ang S (2003) Cultural intelligence: Individual interactions across cultures. Stanford University Press, Stanford.

Fröhlich, P., Esser, J., Feldmann, F., Lenz, D., Geibler, J. v., Griese, L., Diestel, S. (2025). Faktoren zur Förderung von Kompetenzen für die digitale Kollaboration in internationalen Netzwerken: Das DiCoLab Modell. https://dico-lab.de/wp-content/uploads/2025/12/Gesamt-Synthesebericht_AP1.pdf

Gong H, Hassink R, Foster C, Hess M, Garretsen H Globalisation in reverse? Reconfiguring the geographies of value chains and production networks. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, Volume 15, Issue 2, 165–181.

Guimarães LGdA, Blanchet P, Cimon Y (2021) Collaboration among small and medium-sized enterprises as part of internationalization: A systematic review. Administrative Sciences 11:153.

Holgersson M, Dahlander L, Chesbrough H, Bogers M (2024) Open innovation in the age of AI. California Management Review 67:1–22.

Liden R C, Wayne S J, Liao C, Meuser J D (2014) Servant leadership and serving culture: Influence on individual and unit performance. Academy of Management Journal 57:1434–1452.

Liedtke C, Baedeker C, Hasselkuß M, Rohn H, Grinewitschus V (2015) User-integrated innovation in Sustainable LivingLabs: an experimental infrastructure for researching and developing sustainable product service systems. In: Journal of Cleaner Production, 97, S. 106-116.

Meireles FRdaS, Azevedo A C, Boaventura J M G (2022) Open innovation and collaboration: A systematic literature review. Journal of Engineering and Technology Management 65:101702.

Oberländer M, Bipp T (2022) Do digital competencies and social support boost work engagement during the COVID-19 pandemic? Computers in Human Behavior 130:107172.

Permantier M, Bischoff D, Korpas B (2021) Werte wirken: Strategie, Marke und Kultur mit Werten entwickeln. Vahlen Verlag, München.

Purhonen P (2012) Interpersonal communication competence and collaborative interaction in SME internationalization. Dissertation, University of Jyväskylä.

Rockstuhl T, Seiler S, Ang S, Van Dyne L, Annen H (2011) Beyond general intelligence (IQ) and emotional intelligence (EQ): The role of cultural intelligence (CQ) on cross-border leadership effectiveness in a globalized world. Journal of Social Issues 67:825–840.

Rosing K, Zacher H (2017) Individual ambidexterity and innovative performance. European Journal of Work and Organizational Psychology 26:694–709.

Siemens (2022) Supercharging the industry transformation with the comprehensive Digital Twin. Whitepaper. https://assets.new.siemens.com.

Terstriep J, Lüthje C (2018) Innovation, knowledge and relations – On the role of clusters for firms' innovativeness. European Planning Studies 26:2167–2199.

Wächter M (2021) Datenschutz im Unternehmen. C. H. Beck Verlag, München.

Wang Y, Huang Q, Davison R M, Yang F (2018) Effect of transactive memory systems on team performance mediated by knowledge transfer. International Journal of Information Management 41:65–79.

West J (2014) Open innovation: Learning from alliance research. In: Culpan R (Ed) Open innovation through strategic alliances. Palgrave Macmillan, London, 1–15.

Management Perspektiven zur Gestaltung digitaler Transformation in Unternehmen. Eine Literaturreview quantitativer Studien

Marie Luise HERMANN, Sophia JENKEL

Institut für angewandte Informatik e.V., Goerdelerring 9, D-04109 Leipzig

Kurzfassung: Die rasante Entwicklung digitaler Transformation spiegelt sich auch in der Forschung dazu wider und erreicht durch die Etablierung Künstlicher Intelligenz ein höheres Komplexitätsmaß. Ziele dieser systematischen Literaturreview sind ein Überblick über beforschte Managementperspektiven bezüglich digitaler Transformation, eine Beschreibung von Konzeptionalisierung und Operationalisierung bei der Erhebung und insbesondere die Berücksichtigung der menschzentrierten Perspektive in der Forschung. Wichtige Ergebnisse sind ein zu beobachtender starker Fokus auf Wirtschaftlichkeit von digitaler Transformation in der Performanz und im Wettbewerb. Der arbeitende Mensch wird dabei nur geringfügig bzgl. Arbeitsgestaltung und Kompetenzen thematisiert.

Schlüsselwörter: Strukturierte Literaturreview, digitale Transformation, Managementperspektiven, menschzentrierte Perspektive

1. Einleitung

Die Forschungslandschaft um digitale Transformation entwickelt sich rasant. Immer schneller entstehen neue Innovationen und bieten große Chancen für Unternehmen. Schon längst ist digitale Transformation ein Hauptfokus zukunfts-orientierter Debatten und wird nicht zuletzt durch die Etablierung von Künstlicher Intelligenz (KI) um eine neue Dimension erweitert. Technische Möglichkeiten, unternehmerisches Potenzial und wirtschaftliche Strategien stehen dabei u.a. im Zentrum von Forschung und Umsetzung. Hierbei kommt der menschlichen Perspektive eine verstärkte Bedeutung zu, da aktives Einbeziehen der Mitarbeitenden, sowie die Einstellungen der Entscheidungstragenden maßgeblich sind für erfolgreiche Prozesse digitaler Transformation (Ullrich et al. 2023; Petrov et al. 2023). In der Gegenüber-stellung der industriellen Revolutionen Industrie 4.0 (I4.0) und Industrie 5.0 (I5.0) stellen Piccarozzi et al. (2024) fest, dass die Rolle des Menschen insbesondere der Arbeitenden einen fundamentalen Unterschied in den beiden Paradigmen darstellt. Vor allem bei der Thematisierung der I4.0 werden die vernachlässigte mensch-zentrierte Perspektive kritisch betrachtet und Vorschläge für ein erweitertes Konzept gemacht (ebd.). Nicht zuletzt wird argumentiert, dass die Berücksichtigung des Menschen in I4.0 und I5.0 wichtig für die Akzeptanz neuer Technologien am Arbeitsplatz und somit für das Gelingen der digitalen Transformation ist (ebd.). Dies setzt voraus, dass Angestellte Wege und Strategien der Digitalisierung verstehen und an ihnen beteiligt sind.

Eine Vielzahl an Studien, die auf Befragungen unterschiedlicher Ebenen in Unternehmen in unterschiedlichen Regionen und Branchen basieren, beschäftigt sich mit digitaler Transformation aus verschiedenen konzeptionellen Perspektiven heraus. Besonders interessant sind hierbei Studien, die primär Managementebenen befragen. So gelingt es zu erforschen, wie Managementebenen menschzentrierte Digitalisierung und KI-Implementation verstehen oder umsetzen und somit direkten Einfluss auf

Arbeitsorganisation und –gestaltung nehmen.

Ziel dieser systematischen Literaturreview (SLR) ist die Untersuchung des Ist-Stands bestehender Forschungsarbeiten zu Managementperspektiven auf digitale Transformation und KI-Implementierung. Diese Arbeit bewegt sich dabei sowohl auf konzeptioneller Ebene der Forschungsdesigns als auch auf inhaltlicher Ebene der Forschungsergebnisse. Daraus ergeben sich drei Forschungsfragen, die im Rahmen der vorliegenden Literaturreview beantwortet werden:

1. Wie wird digitale Transformation in der Forschung konzeptionell untersucht?
2. Welche inhaltlichen Aspekte werden erforscht und welche Erkenntnisse lassen sich daraus ziehen?
3. Inwieweit werden menschenzentrierte Perspektiven in der Forschung zur digitalen Transformation berücksichtigt?

2. Methodisches Vorgehen

Um die dargestellten Forschungsfragen zu beantworten, wurde eine SLR durchgeführt. Dafür wurde die Datenbank Web of Science (WoS) genutzt und im April 2025 eine String-Suche durchgeführt. Die Suche wurde auf Artikel beschränkt, die in englischer oder deutscher Sprache verfasst und in den letzten fünf Jahren veröffentlicht wurden, um die aktuelle Relevanz sicherzustellen. Der Suchstring umfasste quantitative Studien zu Einstellungen, Erwartungen oder Perspektiven gegenüber digitaler Transformation oder KI, Hindernisse bei der Implementierung digitaler Maßnahmen oder KI in Unternehmenskontexten. Diese Suchfilter ergaben 1.302 passende Artikel. Vier Artikel wurden aufgrund von Sprache oder Rückrufen ausgeschlossen.

Das weitere Analyseverfahren der SLR erfolgte nach einem dreistufigen Ausschlussverfahren: einer Titelanalyse, einer Abstract-Analyse und einer Volltext-analyse, bei der geprüft wurde, ob die erforderlichen Themen behandelt werden. Hierbei wurde die Literaturreview weiter auf Managementbefragungen fokussiert. Aus diesen Anforderungen ergaben sich 76 verbleibende Artikel für die Auswertung.

Auf Grundlage dieser Datenbasis wurde eine Literaturmatrix erstellt und eine Volltextanalyse orientiert an den PRISMA-Guidelines durchgeführt, um Forschungs-design und -ergebnisse zu kategorisieren und miteinander ins Verhältnis zu setzen.

3. Ergebnisse

3.1 Samplebeschreibung der Studienauswahl

Über den betrachteten Zeitraum ist in der Studienauswahl ein Anstieg der Anzahl an Publikationen pro Jahr zu erkennen. Die Herkunftsländer der Studien sind weltweit vertreten. Besonders häufig sind Länder aus Osteuropa, Süd- und Süd-Ost-Asien sowie Südamerika vertreten. Die Stichproben der Studien betrachten sowohl Unternehmen spezifischer Länderregionen, der Gesamtnation oder mehrerer Länder im Vergleich. Unter Berücksichtigung des Stichwortes “SMEs” im Suchstring befassen sich die Studien sowohl mit Unternehmen jeder Größe (76,3%) als auch ausschließlich mit KMUs (23,7%). Bei der Auswahl an Unternehmen machen 36,8% keine Einschränkung bzgl. Sektor- oder Branchenzugehörigkeit. Hinsichtlich ihrer Sektorzugehörigkeit befassen sich die Studien eher mit Unternehmen des

Sekundärsektors (36,8%) und betrachten vorwiegend Firmen des verarbeitenden Gewerbes (34,2%).

3.2 Methodische und konzeptionelle Analyse

Nach der Einschränkung der Studienauswahl auf quantitative Forschungsbeiträge, weisen 7,9% der Studien nach dem Ausschlussprozess ein Mixed-Methods Design auf, wobei der qualitative Anteil bei der methodischen und ergebnissbezogenen Analyse der SLR nicht berücksichtigt wurde. Am häufigsten wurden in den Beiträgen Methoden der deskriptiven Analyse (46,1%) und der Kausal- und Pfadanalyse (36,8%) verwendet. Sieben der Studien verwenden Methoden aus dem Bereich der Entscheidungs-unterstützung und eine Studie nutzt eine KI-Methode zur Analyse.

Die konzeptionelle Untersuchung zeigte, dass die Studien sich im theoretischen Fundament entweder auf bestehende Konzepte, Modelle oder empirische Befunde beziehen (Tab. 1).

Tabelle 1: *Übersicht zum theoretischen Fundament.*

Konzept		**Modell**		**Empirische Befunde**	30,3%
Industrie 4.0	31,6%	Technology Adoption Models	27,6%		
Digitale Transformation	5,3%	Reifegradmodelle	9,2%		
Digitale und kognitive Fähigkeiten	4,0%	Verhaltensmodelle	1,3%		

Unter den sonstigen, hier ausgesparten, Konzepten wurden aufgeführt: Industrie 5.0, Theory of DoI, Smart Manufacturing, Knowledge Management.

3.3 Inhaltliche Analyse

Bei der näheren Betrachtung der Rolle von digitaler Transformation in der Forschungsperspektive sieht man eine Verwendung als konzeptioneller Rahmen und Motivation für das Thema, sowie als konkrete Untersuchungsvariable im Design. Digitale Transformation wird sowohl als beeinflussende Variable im Analysemodell verwendet, als auch als beeinflusste Variable.

Schließlich lassen sich auf inhaltlicher Ebene folgende thematische Forschungs-interessen unterscheiden: die Umsetzung digitaler Transformationsvorhaben (wie Risiken, Barrieren oder Treiber), die strategische Einschätzung (wie Reifegrad, Grenzen oder Wettbewerbsfähigkeit), die Rolle von Leadership und Position von Mitarbeitenden. Hierbei liegt ein deutlicher Schwerpunkt auf den Forschungs-beiträgen zu Umsetzung und strategischer Einschätzung digitaler Transformation.

Bei der weiteren inhaltlichen Auseinandersetzung mit den Schwerpunkten und Ergebnissen der in dieser Literaturreview betrachteten Studien, wurde eine Vielzahl an unterschiedlichen Untersuchungseinheiten identifiziert. Im Folgenden werden die Forschungsergebnisse der Studien zu sechs dieser Einheiten dargestellt. Faktoren, die in Studien relevant waren, in denen digitale Transformation als beeinflusste Variable betrachtet wurde, werden zusammengefasst betrachtet: Treiber, Hürden und menschliche Faktoren. Gleichfalls werden Auswirkungen betrachtet, die in Studien relevant waren, in denen digitale Transformation als beeinflussende Variable erachtet wurde: Performanz, Vorteile und Auswirkungen auf Belegschaft. Die Auswahl dieser

sechs Untersuchungseinheiten erfolgte danach, welche Einheiten insgesamt am häufigsten in den untersuchten Studien von Interesse waren (Treiber, Hürden, Performanz und Vorteile) und welche Einheiten ein menschzentriertes Forschungsinteresse verfolgten (menschliche Faktoren und Belegschaft).

Treiber und Hürden: Ein Großteil der untersuchten Studien untersuchte Treiber (13,2%) und/oder Hürden (26,3%) digitaler Transformation und identifizierte unter anderem externe Treiber, wie niedrige Einführungskosten, Wissensaustausch, Standortfaktoren oder staatliche Unterstützung, oder soziale Treiber, wie inter-organisationale Partnerschaften oder Führungskompetenzen. Letztlich fungieren auch bestimmte Erwartungen zu Leistungssteigerung, Kostenreduzierung oder gesteigerter Wettbewerbsfähigkeit als Treiber. Als Hürden wurden technologische Hürden, wie Komplexität der Technologien, mangelnde technische Infrastruktur oder fehlende Daten identifiziert. Weitere Hürden stellen ökonomische Hürden, wissensbezogene Hürden oder fehlendes qualifiziertes Personal oder fehlende Unterstützung durch das Management da.

Performanz und Vorteile: Ebenfalls häufig wurden die Auswirkungen digitaler Transformation auf die Performanz (6,6%) oder generelle Vorteile (9,2%) für Unternehmen untersucht. Hierbei wurden Einflussfaktoren auf Performanz untersucht, wie beispielsweise Einstellungen zu Digitalisierung, aber auch die Auswirkungen von digitaler Transformation auf die Performanz, wie eine Verstärkung von Performanz und Innovation. Auch moderierende Faktoren wurden in diesem Zusammenhang identifiziert: der Einsatz von Wissensmanagement und die Auswahl und Kombination bestimmter Technologien kann den Zusammenhang von digitaler Transformation und Performanz beeinflussen. Ebenfalls identifiziert die Forschung eine Vielzahl an Vorteilen durch digitale Transformation, wie beispielweise verbesserte Produktqualität, verbesserte Entscheidungsprozesse oder reduzierte Kosten. Auch hierbei wurden Moderatoren untersucht. So wirken sich beispielsweise die Unternehmensgröße und die interne, sowie externe Kommunikation positiv auf die Erzielung von Vorteilen durch digitale Transformation aus.

Menschliche Faktoren: Deutlich seltener wurden menschliche Faktoren (1,3%) und ihre Einflussnahme auf digitale Transformation untersucht. Hierbei wurden Kompetenzen des Managements, aber auch die Kompetenzen der Mitarbeitenden als einflussreich auf digitale Transformation identifiziert. Bei Mitarbeitenden sind Faktoren wie Angst, Vertrauen oder die wahrgenommene Unterstützung durch die Führung einflussreich. Ebenfalls spielen hier auch die Arbeitsumgebung und Arbeitsgestaltung eine Rolle.

Auswirkungen auf Belegschaft: Gleichsam selten untersuchen die Studien Auswirkungen digitaler Transformation auf die Belegschaft (4,0%). Wie bereits angeklungen ist, werden Veränderungen der erforderlichen Fähigkeiten und Qualifikationen des Personals als Auswirkung digitaler Transformation identifiziert. Aber auch die Vereinfachung und Neustrukturierung von Prozessen des Human Resources Management oder die Reduzierung repetitiver Arbeit kann mit digitaler Transformation einhergehen.

4. Diskussion

4.1 Limitationen

Diese Literaturreview versucht eine möglichst breite Untersuchung des aktuellen Forschungsstands zu Managementperspektiven bezüglich digitaler Transformation zu bieten. Nichtsdestotrotz wird die Auswahl der Studien maßgeblich durch den Suchstring und die gewählte Datenbank WoS beeinflusst. Diese Einschränkung sollte bei der Auseinandersetzung mit den Ergebnissen berücksichtigt werden.

Schließlich sollte auch die Auswirkung der Vielfalt und Komplexität der ausgewählten Studien auf die Kategorienbildung innerhalb des Analyseverfahrens beachtet werden. Die Studien nutzen teilweise Konzepte und Begriffe unterschiedlich, sodass die gebildeten Kategorien unter Umständen an Trennschärfe und Präzision verlieren. Vor allem kommt es dazu, dass Studien von mehreren Kategorien eines Feldes beschrieben werden können. Diese Gefahr muss in Kauf genommen werden, um eine umfassende Zusammenführung der Ergebnisse und eine gemeinsame Betrachtung der Studien zu ermöglichen.

4.2. Implikationen

Unter Berücksichtigung der oben genannten Limitationen bietet die Literaturreview dennoch einen anschaulichen Überblick über die Erforschung von Managementperspektiven bezüglich digitaler Transformation der letzten 5 Jahre. Die Literaturreview zeigt einen deutlichen Fokus der Forschung auf Wirtschaftlichkeit und ökonomische Performanz. Forschende wollen vorranging verstehen, was digitale Transformation vorantreibt und wie sich dies auf den unternehmerischen Output auswirkt.

Mit Hilfe der Betrachtung dieser Literaturreview wird deutlich, dass der Mensch, sofern er im Kontext der Forschung zu digitaler Transformation berücksichtigt wird, vorrangig als Hindernis oder Stellschraube gesehen wird, mit der es im Rahmen der Umsetzung digitaler Transformation umzugehen gilt.

5. Fazit

Schließlich ermöglichen die Ergebnisse dieser Literaturreview die Beantwortung der drei Forschungsfragen:

(1) Wie wird digitale Transformation in der Forschung konzeptionell untersucht? Die methodischen Vorgehensweisen der Studien zeigen ein vorwiegendes Interesse an der Untersuchung von Ist-Ständen oder Ursache-Wirkungszusammenhängen. Hierbei wird digitale Transformation als beeinflusste Variable und/oder beeinflus-sende Variable konzipiert. Besonderer Fokus liegt auf strategischen Aspekten des Konzeptes wie die Organisations-, Technologie- und Kompetenzebene.

(2) Welche inhaltlichen Aspekte werden erforscht und welche Erkenntnisse lassen sich daraus ziehen? Inhaltlich ergeben sich vier thematische Schwerpunkte der untersuchten Studien: die Umsetzung digitaler Transformationsvorhaben, die strategische Einschätzung digitaler Transformation, die Rolle von Leadership und die Position von Mitarbeitenden. Am häufigsten werden die Einflüsse von Treibern oder Hürden auf digitale Transformation, sowie die Auswirkung von digitaler Transformation auf Performanz und Vorteile für Unternehmen untersucht. Seltener werden

menschliche Faktoren zu digitaler Transformation oder Auswirkungen auf Arbeit und Belegschaft betrachtet.

(3) Inwieweit werden menschzentrierte Perspektiven in der Forschung zur digitalen Transformation berücksichtigt? Vorrangig liegt der Fokus auf technischen Möglichkeiten und Wirtschaftlichkeit. Menschzentrierte Themen, wie Akzeptanz, Ängste oder die Veränderung der Arbeitsverhältnisse werden teilweise identifiziert, bilden jedoch nicht den Schwerpunkt des eigentlichen Forschungsinteresses.

Hieran anknüpfend lässt sich also ein Defizit identifizieren, dem sich weiterführende Forschung widmen kann. Ausgehend von diesem Literatur-Scope mangelt es an Forschungsvorhaben, die das Wohlergehen des Menschen im Kontext seiner Arbeit in den Fokus rücken. Selten wird erforscht welchen Einfluss digitale Transformation auf die Lebenschancen im Alltag und im Arbeitskontext hat oder wie negativen Auswirkungen digitaler Transformation auf die Arbeitsgestaltung begegnet werden kann. Diese Forschung kann zur allgemeinen Debatte über die Rolle von Arbeit in der Gesellschaft und die Ansprüche der Gesellschaft an die neuen Arbeitsverhältnisse durch digitale Transformation beitragen.

6. Literatur

Ullrich, A., Reißig, M., Niehoff, S., & Beier, G. (2023). Employee involvement and participation in digital transformation: A combined analysis of literature and practitioners' expertise. Journal of Organizational Change Management, 36(8), 29–48. https://doi.org/10.1108/JOCM-10-2022-0302

Petrov, I., Samoilenko, V., Kotelnikova, I., Tomakh, V., & Bocharova, N. (2023). Leadership's Role in Navigating Sustainability and Digitalisation in Enterprise. In INTERNATIONAL JOURNAL OF ORGANIZATIONAL LEADERSHIP (Bd. 12, Nummer SI, S. 165–182). CANADIAN INST KNOWLEDGE DEVELOPMENT - CIKD. https://doi.org/10.33844/ijol.2023.60378

Piccarozzi, M., Silvestri, L., Silvestri, C., & Ruggieri, A. (2024). Roadmap to Industry 5.0: Enabling technologies, challenges, and opportunities towards a holistic definition in management studies. Technological Forecasting and Social Change, 205, 123467. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123467

Literaturanhang und Datensatz der reviewten Studien: https://doi.org/10.5281/zenodo.18171410

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt Anja Brückner und Sabine Hartig sowie dem KMI-Team für die Ermutigung und Unterstützung bei diesem Vorhaben.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Mit Kompetenzmanagement regulatorische Vorgaben in KMU umsetzen

Anja MÜCKE, Lou BUSARELLO, Anne JANSEN

Institut für Personalmanagement & Organisation, Hochschule für Wirtschaft Fachhochschule Nordwestschweiz
Riggenbachstrasse 16, CH-4600 Olten

Kurzfassung: Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in der Schweiz sind mit regulatorischen Vorgaben konfrontiert, die ein systematisches Kompetenzmanagement erfordern. Die Studie identifiziert relevante Regulierungen, analysiert die aktuelle KMU-Praxis und zeigt Handlungsfelder auf. Auf Basis von Desk Research und Interviews mit fünf KMU zeigt sich, dass Kompetenzmanagement zentral für die Einhaltung regulatorischer Vorgaben ist, auch wenn KMU diesen Bezug nicht explizit herstellen. Gleichzeitig ist eine digitale Unterstützung unabdingbar. Digitale Tools können wesentlich zur Compliance-Sicherung beitragen, wenn sie die spezifischen Rahmenbedingungen von KMU berücksichtigen.

Schlüsselwörter: Kompetenzmanagement, Regulierungen, Zertifizierung, KMU, Digitale Tools

1. Einleitung

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in der Schweiz sind mit unterschiedlichen regulatorischen Vorgaben konfrontiert. Diese resultieren aus gesetzlichen Anforderungen, branchenspezifischen Standards sowie freiwilligen Zertifizierungen wie z.B. ISO-Zertifizierungen, die der Qualitätssicherung, Arbeitssicherheit oder dem Umwelt- und Verbraucherschutz dienen (KMU-Portal des SECO 2021; Governance Risk Compliance 2024)

Regulatorische Vorgaben betreffen nicht nur Prozesse, Produkte oder Dienstleistungen, sondern auch die Kompetenzen der Mitarbeitenden. Viele Regulierungen fordern explizit, dass Organisationen sicherstellen, dass Beschäftigte über die notwendigen Fähigkeiten und Fertigkeiten verfügen, um ihre Aufgaben kompetent und regelkonform auszuführen.

Kompetenzmanagement umfasst alle Prozesse, mit denen Organisationen Kompetenzen systematisch identifizieren, erfassen, bewerten und entwickeln (Kauffeld & Paulsen 2018; North et al. 2018). Ziel ist es, die Fähigkeiten der Mitarbeitenden mit den Anforderungen der Organisation (Ist-Soll-Analyse) abzugleichen. Kompetenzmanagement gewinnt damit als Instrument zur Einhaltung regulatorischer Vorgaben an Bedeutung.

Während Großunternehmen über etablierte Strukturen, spezialisierte Fachstellen und digitale Tools verfügen, um regulatorische Vorgaben zu managen, sind KMU hier häufig unterausgestattet. Ihnen fehlen oftmals Ressourcen, systematische Prozesse oder geeignete Softwarelösungen, um Kompetenzanforderungen strukturiert zu erfassen, Soll-Ist-Abgleiche durchzuführen und Maßnahmen zur Kompetenzentwicklung zu dokumentieren. Bislang fehlen wissenschaftliche Erkenntnisse mit welchen Herausforderungen KMU bei der Erfüllung kompetenzspezifischer regulatorischer Vorgaben

konfrontiert sind.

Das Ziel der vorliegenden Studie war es zu untersuchen, inwieweit eine digitale Kompetenzmanagement-Lösung KMU dabei unterstützen kann, regulatorische Anforderungen zu erfüllen. Konkret verfolgte die Studie drei Teilziele: (1) Ermittlung und Systematisierung der wichtigsten regulatorischen Vorgaben mit Auswirkungen auf Kompetenzmanagement, mit denen KMU in der Schweiz konfrontiert sind, (2) Analyse der KMU-Praxis: Untersuchung, wie KMU aktuell mit diesen regulatorischen Vorgaben umgehen und welche Systeme oder Tools sie dabei einsetzen und (3) Ableitung von Anforderungen an digitale Lösungen: Erhebung der Bedürfnisse und Erwartungen von KMU an eine Kompetenzmanagement-Lösung zur Unterstützung regulatorischer Vorgaben.

2. Methodisches Vorgehen

Die Studie folgte einem zweistufigen Forschungsdesign. In einem ersten Schritt wurde ein systematisches Desk Research durchgeführt. Unter Verwendung der Suchbegriffe Regulierung, Zertifizierung sowie kontextverwandter Termini wurden branchenübergreifende und branchenspezifische regulatorische Vorgaben identifiziert, kategorisiert und hinsichtlich ihrer Relevanz für KMU systematisiert. Ergänzend wurden auf Basis von Daten des Bundesamts für Statistik (2024) jene Wirtschaftsbereiche identifiziert, in denen einerseits eine hohe Anzahl an KMU vertreten ist und andererseits eine hohe Regulationsdichte besteht. Hierzu zählen insbesondere der Bausektor (6.004 KMU), der Bereich Gesundheit (3.524 KMU), Architektur- und Ingenieurbüros sowie Laboratorien (3.103 KMU) sowie Dienstleistungen der Informationstechnologie (2.027 KMU).

Im zweiten Schritt wurden Vertreter:innen von KMU aus diesen Branchen über das jeweilige Netzwerk des Projektpartners sowie der Hochschule zur Teilnahme an leitfadengestützten Interviews eingeladen. Die Interviews wurden im Mai 2025 online über Microsoft Teams durchgeführt und aufgezeichnet. Der Interviewleitfaden umfasste drei thematische Schwerpunkte: (1) bestehende regulatorische Vorgaben sowie deren Anforderungen an das Kompetenzmanagement von KMU, (2) Bestehende Lösungsansätze und Herausforderungen im Umgang mit diesen Anforderungen und (3) Erwartungen an Kompetenzmanagement-Lösungen zur Unterstützung bei der Erfüllung regulatorischer Vorgaben.

Die automatisiert transkribierten Interviews wurden inhaltsanalytisch nach Kuckartz (2018) ausgewertet. Die Stichprobe umfasste fünf Organisationen mit 50 bis 400 Mitarbeitenden. Die Befragten (N=7) hatten verschiedene Funktionen/Rollen im jeweiligen Unternehmen wie z.B. Geschäftsführung, verschiedene HR-Rollen sowie Leitung Qualitätsmanagement inne.

3. Ergebnisse

3.1 Ermittlung regulatorischer Vorgaben

KMU in der Schweiz sind sowohl mit branchenübergreifenden als auch mit branchen- oder berufsfeldspezifischen regulatorischen Vorgaben konfrontiert. Die regulatorischen Vorgaben können, wie in Tabelle 1 dargestellt, kategorisiert werden. Die aufgeführten Beispiele sind exemplarisch und nicht abschließend:

Tabelle 1: *Kategorisierung regulatorischer Vorgaben.*

	Branchenübergreifend	**Branchenspezifisch**
Rechtlich verbindlich	z. B. Arbeitsgesetz ArG Datenschutzgesetz DSG	z. B. Bankengesetz
Freiwillig beratend	z. B. bestimmte ISO-Normen wie ISO 9001 (Qualitätsmanagement); EFQM-Modell	z. B. bestimmte ISO-Normen wie ISO 15189 (Akkreditierung medizinischer Labore); ISO 20000 (IT-Service-Management)

Hinsichtlich freiwilliger Zertifizierungen und Normen sind ISO-Zertifizierungen in Schweizer KMU im Vergleich zu EFQM deutlich verbreiteter (Governance Risk Compliance 2024).

Die Regulierungen und Zertifizierungen stellen verschiedenen Anforderungen an das Kompetenzmanagement von KMU: Kompetenzen (Skills/Qualifizierungen) müssen dokumentiert werden (z.B. Führen und Pflege von Kompetenzmatrix), die Passung zur jeweiligen Stelle/Rolle muss regelmäßig überprüft werden sowie allfällige Kompetenz-Gaps müssen geschlossen werden (Kompetenzentwicklung). Regulatorische Vorgaben erfüllen stellt zudem selbst bestimmte Anforderungen an das Unternehmen: Das Wissen von und der kompetente Umgang mit regulatorischen Vorgaben ist eine Kompetenz, die dokumentiert, nachgewiesen, geschult und weiterentwickelt werden muss.

3.2 Aktuelle KMU-Praxis und deren Herausforderungen

Alle befragten KMU betreiben Kompetenzmanagementaktivitäten, die in Zusammenhang mit regulatorischen Vorgaben stehen. Dieser Zusammenhang wird jedoch nicht immer explizit gezogen und zum Teil werden die Aktivitäten nicht als Kompetenzmanagement bezeichnet. Die berichteten Aktivitäten erstrecken sich über den gesamten Employee-Lifecycle, insbesondere auf Rekrutierung, Einsatz sowie Entwicklung, und können in laufende und projektbezogene Aktivitäten unterteilt werden.

Laufende kompetenzbezogene Aktivitäten aufgrund regulatorischer Vorgaben sind beispielsweise

- Abbildung der kompetenzbezogenen Anforderungen auf Ebene Stelle/Rolle/Aufgabe (Rollen-/Stellenprofile)

- Dokumentation der bei Mitarbeitenden vorhandene Kompetenzen, verknüpft mit Nachweisen (Zertifikate, Abschlüsse/Qualifikationsniveau etc.)
- Kompetenzbasierte Einsatzplanung
- Soll-Ist-Abgleiche für Rekrutierung und/oder Einwicklungsbedarf
- Durchführung von Schulungen der Mitarbeitenden aufgrund von regulatorischen Vorgaben („regulatorische Vorgaben erfüllen als Kompetenz“) z.B. Schulungen zu Hygienevorschriften, Datenschutz, Sicherheit (Compliance)

Berichtete *projektbezogene Aktivitäten* betreffen gesonderten Aufwand z. B. im Rahmen einer gerade durchlaufenen EFQM-Zertifizierung, der Schaffung von Grundlagen wie der Erarbeitung einer Rollenlandschaft mit entsprechenden Profilen oder der Einführung eines neuen Tools.

Alle befragten KMU nutzen *Systeme-/Tools* für das Kompetenzmanagement («ohne Toolunterstützung nicht möglich»). Dabei kommt häufig gleichzeitig mehr als ein Tool für verschiedene Aufgaben zum Einsatz wie z. B. für Personaldatenverwaltung, Bewerbungsmanagement, Einsatzplanung oder um Weiterbildungsnachweise zu verwalten. Die Befragten geben an, dass kein Tool alle Anforderungen befriedigen kann. Zum Einsatz kommen z.B. Excel, Dualoo; SAP Sucessfactors; Scodi; Abacus; Nexus; Limsophy; Sharepoint; Peerdom. Diese System-/Toollandschaft ist dabei oftmals historisch gewachsen und enthält Eigenlösungen oder auf eigene Bedürfnisse angepasste bestehende Tools.

Um die Bedürfnisse und Erwartungen von KMU an eine Kompetenzmanagement-Lösung zu bestimmen, wurden zunächst die *Herausforderungen und Schwächen* der aktuellen Praxis ermittelt. Die berichteten Herausforderungen und Schwächen der aktuellen Praxis fasst Tabelle 2 zusammen, wobei unterschiedliche KMU unterschiedliche Schwächen bzw. Herausforderungen wahrnehmen.

Tabelle 2: *Schwächen und Herausforderungen der aktuellen Praxis.*

Schwächen und Herausforderungen der aktuellen Praxis
• Fokus liegt auf dem IST und weniger auf dem SOLL (Zukunftsorientierung fehlt) • Wissenstransfer findet zu wenig statt • Abgleich/Aktualisierung zu selten und oder zu wenig strukturiert • Starke regulatorische Anforderungen schränken Handlungsmöglichkeit ein (z.B. bei der Einsatzplanung); machen die Arbeit aufwändiger • «Diplom-Fixierung» statt Kompetenzorientierung • Bei QM/HR/GL angesiedelt; Mitarbeitende meist wenig/gar nicht involviert (eher zentral/top down organisiert) • Workflow nicht optimal, da man in verschiedenen Systemen/Tools verzettelt ist; fehlende Übersichtlichkeit (zu komplex, zusammensuchen, verschiedene Orte, unterschiedliche Flughöhe) • Grosser Zusatzaufwand notwendig, um regulatorische Anforderungen einer EFQM/ISO-Zertifizierung zu erfüllen, da toolseitig dies nicht ausreichend unterstützt wird

Die befragten KMU berichten von verschiedenen Herausforderungen wie z. B. einem überwiegend IST-orientierten Kompetenzmanagement, unregelmässigen Soll-Ist-Abgleichen, Top-down Strukturen, eingeschränkten Handlungsmöglichkeiten sowie fragmentierten Tools, denen bestimmte Funktionalitäten fehlen. Das Kompetenzmanagement wird von den Befragten als aufwändig, herausfordernd und als Span-

nungsfeld zwischen den zu erfüllenden Aufgaben wie regulatorischen Vorgaben genügen und den dafür vorhandenen Ressourcen erlebt.

3.3 Bedürfnisse und Erwartungen von KMU an eine Kompetenzmanagement-Lösung

Der wahrgenommene Handlungsbedarf und die geäußerten Bedürfnisse liegen primär auf der inhaltlichen und prozessualen Ebene z. B. hinsichtlich Struktur, Frequenz, Einbindung der Mitarbeitenden und der Schaffung von Grundlagen und weniger bei den eingesetzten Tools. Hier berichten die KMU, dass sie ihre Toolsituation zwar als nicht optimal wahrnehmen, sie jedoch zurechtkommen und nicht aktiv auf der Suche nach einem neuen Tool sind. Zudem müsste der Nutzen einer digitalen Lösung, den Aufwand hinsichtlich Beschaffung und Einführung übersteigen. Damit eine digitale Lösung Mehrwert für die befragten KMU schaffen könnte, sollte sie sich nahtlos in bestehende Systeme integrieren lassen, unterschiedliche Rollen- und Zugriffsrechte ermöglichen und DSGVO-konform arbeiten. Zentral sind zudem Funktionen zur transparenten Dokumentenablage, Kompetenzvalidierung, datenbasierten Auswertung (z. B. Soll-Ist-Abgleich), benutzerfreundlicher Bedienung sowie automatisierten Kommunikations- und Erinnerungshinweisen, ergänzt durch trainingsempfehlende Funktionen.

4. Diskussion

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Kompetenzmanagement für KMU in der Schweiz ein zentrales, jedoch bislang nur unzureichend systematisiertes Handlungsfeld im Kontext regulatorischer Vorgaben darstellt. Zwar setzen die KMU eine Vielzahl von Kompetenzmanagement-Aktivitäten ein, um regulatorische Vorgaben zu erfüllen, ihnen fehlt jedoch teilweise das Bewusstsein dafür, dass sie damit Kompetenzmanagement betreiben. Zudem wissen sie nicht wie diese Aktivitäten systematisch in ein ganzheitliches Kompetenzmanagement eingebettet werden können. Besonders deutlich wird ein Spannungsfeld zwischen steigenden regulatorischen Vorgaben und begrenzten zeitlichen, personellen und technischen Ressourcen. Die stark fragmentierte Toolsituation führt zu ineffizienten Workflows, erhöhtem Dokumentationsaufwand und erschwert insbesondere Soll-Ist-Abgleiche sowie die Auditfähigkeit im Rahmen von ISO- oder EFQM-Zertifizierungen. Gleichzeitig zeigt sich, dass der wahrgenommene Handlungsbedarf weniger auf der Tool-Ebene liegt, sondern primär auf inhaltlichen und prozessualen Aspekten wie Struktur, Aktualisierungsfrequenz, Transparenz und der Einbindung der Mitarbeitenden. Dies deutet darauf hin, dass digitale Lösungen allein nicht ausreichen, sondern in ein klar definiertes Kompetenzmanagementkonzept eingebettet sein müssen.

Die vorliegende Studie weist mehrere Limitationen auf. Zum einen wurden die verschiedenen Kompetenzmanagement-Aktivitäten nur aggregiert erfasst und nicht differenziert nach einzelnen regulatorischen Vorgaben analysiert. Zum anderen ist die Stichprobe mit insgesamt sieben Befragten aus fünf KMU klein und berücksichtigt jeweils lediglich ein Unternehmen pro Branche, was die Generalisierbarkeit der Ergebnisse einschränkt. Da jedoch ein exploratives Forschungsdesign verfolgt wurde, lassen sich trotz dieser Einschränkungen praxisrelevante Implikationen ableiten:

Erstens sollten KMU Kompetenzmanagement stärker zukunfts- und sollorientiert ausrichten und systematische Soll-Ist-Abgleiche etablieren. Zweitens erscheint eine

stärkere Einbindung der Mitarbeitenden sinnvoll, um Kompetenzmanagement von einer primär top-down organisierten Pflichtaufgabe hin zu einem gemeinsam getragenen Prozess zu entwickeln. Drittens ist es wichtig, dass digitale Kompetenzmanagement-Lösungen insbesondere auf Integration in bestehende Systeme, Benutzerfreundlichkeit und Transparenz ausgerichtet sind, um Akzeptanz zu fördern und zusätzlichen administrativen Aufwand zu vermeiden. Funktionen zur automatisierten Dokumentation, Validierung von Kompetenzen und Unterstützung von Zertifizierungsprozessen könnten einen wesentlichen Beitrag zur Compliance-Sicherung leisten.

5. Literatur

Bundesamt für Statistik (2024) Marktwirtschaftliche Unternehmen nach Wirtschaftsabteilungen und Grössenklasse.

Governance Risk Compliance (2024) Welche Regulierungsanforderungen gibt es? Accessed Dec 15, 2025. https://governance-risk-and-compliance.de/wissen/regulierungsanforderungen/

Kauffeld S, & Paulsen H (2018) Kompetenzmanagement in Unternehmen. Kompetenzen beschreiben, messen, entwickeln und nutzen. Stuttgart: Kohlhammer.

KMU-Portal des SECO (2021) Zertifizierung. Accessed Dec 15, 2025 https://www.kmu.admin.ch/kmu/de/home/praktisches-wissen/kmu-betreiben/zertifizierung-und-normierung/zertifizierung.html

Kuckartz U (2018) Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Weinheim: Beltz.

North K, Reinhardt K & Sieber-Suter B (2018) Kompetenzmanagement in der Praxis. Mitarbeiterkompetenzen systematisch identifizieren, nutzen und entwickeln. Wiesbaden: Springer Gabler.

Danksagung: Diese Studie wurde gefördert von Innosuisse (Innoscheck-Projekt 75911.1 INNO-SBM) in Zusammenarbeit mit Herrn Cornel Müller von X28.

Ausgestaltung und Bewertung von Arbeitssystemen mittels Szenario-Managementansatz – Welchen Beitrag können KI-Chatbots leisten?

Sven TACKENBERG[1], Marvin GOPPOLD[2], Jan-Phillip HERRMANN[1], Sönke DUCKWITZ[1]

[1] Fachgebiet Industrial Engineering, Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe Campusallee 12, D-32657 Lemgo
[2] Zeppelin Rental GmbH, Graf-Zeppelin-Platz 1, D-85748 Garching

Kurzfassung: Der Beitrag stellt eine Konzeptstudie vor, die die Eignung des Szenario-Management Ansatzes für die Bewertung von operativen Arbeits-gestaltungsmaßnahmen untersucht und zu ersten Erkenntnisse für die Arbeitssystemgestaltung führt. Hierbei werden insbesondere Einflussfaktoren auf die Arbeitsfähigkeit nach Ilmarinen betrachtet, die das Gleichgewicht zwischen den individuellen Ressourcen eines Menschen und den aus der Arbeit resultierenden Anforderungen beeinflussen. Der Begriff der Arbeitsfähigkeit wird daher nicht nur auf die Beschäftigten (Verhaltensprävention), sondern auch auf die Gestaltung der Arbeitsbedingungen (Verhältnisprävention) bezogen. Da das vollständige Durchlaufen eines Szenario-Prozesses aber als sehr zeitaufwändig gilt, wird explorativ anhand eines Anwendungsfalls aufgezeigt, wie mit einer Unterstützung verfügbarer Large Language Modelle Szenarien erzeugt werden können.

Schlüsselwörter: Szenario-Management, Arbeitssystemgestaltung, Large Language Modelle, Arbeitsfähigkeit

1. Einleitung

Heutige Arbeitssysteme unterliegen Herausforderungen der Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Mehrdeutigkeit (VUCA). Über die Analyse und Systematisierung der Auswirkungen auf Arbeitspersonen sind die Veränderungen in der Arbeitswelt zu erfassen und zu bewerten, um die Grundlagen für eine resiliente Arbeits- und Organisationsgestaltung zu schaffen. Der Szenario-Managementansatz (z. B. Fink und Siebe 2016) ist eine etablierte Methode, um Organisationen auf Unsicherheit und Komplexität anhand von alternativen Zukunftsszenarien vorzubereiten. Bisher ist diese Methode aber überwiegend für die strategische Unternehmensführung eingesetzt worden. Umfassende Erkenntnisse, ob sich der Ansatz auch für die Bewertung operativer Arbeitsgestaltungsmaßnahmen nutzen lässt, liegen nicht vor. Das Durchlaufen eines vollständigen Szenario-Prozesses ist sehr zeitaufwändig (vgl. Marthaler et al. 2020). Um diesem Nachteil zu begegnen, werden die Möglichkeiten der schrittweisen Erzeugung von Szenarien für Arbeitssysteme mittels der Unterstützung durch Large Language Modelle (LLM) in diesem Beitrag explorativ aufgezeigt.

2. Szenariotechnik – eine Einführung

Heute existiert für ein Unternehmen und die zugehörigen Arbeitssysteme zu einem spezifischen Zeitpunkt keine einzelne, vorhersehbare Zukunft. Vielmehr besteht eine Vielzahl von möglichen, wahrscheinlichen, wünschenswerten aber auch abwegigen Zukunftsszenarien. Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens und der spezifischen Ausprägung dieser Zukünfte wird durch Entscheidungen aktiv mitgestaltet. Aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive muss sich daher systematisch mit dieser Vielfalt auseinandergesetzt werden, um besser auf Ungewissheit reagieren und um Veränderungen in Arbeitssystemen vorantreiben zu können. Um ein valides Orientierungswissen für die Akteure in Unternehmen zu schaffen, ist es notwendig, isolierte Datenpunkte und singuläre Trendparameter der Umfeldanalyse in einen handlungsleitenden Gesamtkontext zu integrieren. Ein zentrales Instrument dieser Wissensintegration ist die Szenariotechnik. Durch die Entwicklung mehrerer in sich konsistenter, jedoch divergierender Zukunftsentwürfe ermöglicht die Szenariotechnik die Antizipation von Diskontinuitäten und Trendbrüchen (Finke und Siebe 2016). Werden die Entwicklungswege und die sich daraus ergebenden Szenarien textuell und visuell ausgearbeitet, können diese ein effektives Kommunikationsinstrument zur Ableitung von Entscheidungen und Handlungen sein.

Ausgehend von der Definition des Szenarienfeldes (scenario field) durch die Formulierung der zu beantwortenden Fragestellungen werden bei datengestützten Szenarien die internen und externen Einflussfaktoren für dessen zukünftige Entwicklung definiert. Die identifizierten Einflussfaktoren werden anschließend hinsichtlich der bestehenden paarweisen Beziehungen zueinander bewertet und in einer Einflussfaktoren-Matrix aufgeführt. Für jeden Faktor wird bewertet, wie stark der Faktor das übergeordnete System beeinflusst, bzw. wie stark dieser Faktor von diesem verändert wird. Hieraus resultieren ein sogenanntes Faktoren-Netzwerk und die Definition von Schlüsselfaktoren für das betrachtete Szenarienfeld. Für die festgelegten Schlüsselfaktoren sind anschließend alternative Entwicklungen zu identifizieren und zu Projektionen zusammenzuführen, die zukünftige Situationen des Schlüsselfaktors in Form von Szenarien beschreiben. Projektionen von Schlüsselfaktoren, die nur in einem Szenario vorkommen, werden als charakteristische Elemente definiert und prägen ein Szenario. Ergebnis ist die Beschreibung von mehreren alternativen Zukunftsszenarien für einen definierten zukünftigen Zeitpunkt.

3. Konzeptstudie

Findet bei der datengestützten Szenariotechnik die Vorgehensweise nach Finke und Siebe (2016) Anwendung, ist dies mit einer hohen Ressourcenintensität sowie einem erheblichen personellen Aufwand verbunden. In der unternehmerischen Praxis resultiert dies zumeist in einer einmaligen, punktuellen Anwendung auf ein spezifisches Untersuchungsfeld. Die dargestellte Konzeptstudie zielt daher darauf ab, alternative Zukunftspfade für Arbeitssysteme durch die Entwicklung und Anwendung von Szenarien erfahrbar zu machen, um Menschen und Organisationen auf Unsicherheit bzw. Ungewissheit vorzubereiten. Können unterschiedliche Arbeitsgestaltungsmaßnahmen entwickelt und für die Gesamtheit an möglichen Zukünften evaluiert werden, so ist davon auszugehen, dass die gewählte Lösung zu einer höheren individuellen und organisationalen Resilienz führt. Eine aus Szenarien abgeleitete Planung von ope-

rativen Maßnahmen des Industrial Engineerings schafft somit die Grundlage, um flexibel auf Veränderungen reagieren zu können. Es bedarf daher eines dynamischen Ansatzes, der eine kontinuierliche Fortschreibung initial erzeugter Szenarien ermöglicht und so die statische Limitation der klassischen Methode überwindet.

LLM können heute quantifizierbare (messbare) Indikatoren für einen Untersuchungsgegenstand identifizieren, gewichten und entsprechende Projektionen ableiten. Ebenfalls lassen sich Konsistenzmatrizen erstellen und Texte formulieren. Auf der Grundlage eines kontinuierlichen Monitorings der Entwicklung von Indikatoren und der automatischen Bewertung des Impacts auf einen Untersuchungsgegenstand lassen sich von den Modellen aktuelle Wahrscheinlichkeiten für verschiedene zukünftige Ausprägungen ermitteln. Um aber der Fehlersensitivität von prognostizierten Entwicklungen und Zuständen zu begegnen, ist ergänzend ein Interaktionsmodell erforderlich, durch das Experten über entsprechende Schnittstellen in die Bewertung möglicher Ausprägungen mit einbezogen werden können. Für eine erste Recherche zum Einsatz von KI bei der Durchführung eines Szenario-Managementprozesses wurde der folgende Prompt den LLM „*Chat GPT-5.1*“ und „*Gemini 3 Pro*“ (Stand: Dezember 2025) gestellt:

„*Wie kann KI den Prozess des Szenario-Managements unterstützen?*“

Die LLM bewerten ihre Funktionalität in Bezug auf die Szenario-Management Methode und empfehlen auch eine Aufteilung der Aufgaben auf verschiedene KI-Modelle (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: *Einbindung von KI bei der Entwicklung von Szenarien.*

Aufgabe	Empfohlene KI	Warum?
Trend-Recherche	Perplexity AI	Echtzeit-Websuche mit Quellenbelegen.
Faktoren-Vernetzung	4strat / ScMI	Strenge Methodik und Konsistenzmatrix.
Szenario-Texte schreiben	Claude	Hochwertige Sprache, logische Tiefe.
Datenanalyse (quantitativ)	ChatGPT (Plus)	Starke Python-Integration für Berechnungen.

4. Anwendungsfall – eine kleine Szenario-Managementstudie mit KI

Basierend auf Goppold et al. (2022) wird ein Arbeitssystem „*CNC-Drehmaschine*“ in einem KMU verortet und durch den folgenden Prompt beschrieben (Scenario Field):

„Bei dem untersuchten Arbeitssystem handelt es sich um einen Arbeitsplatz mit einer CNC-Drehmaschine. Das Arbeitssystem befindet sich in einem KMU in Deutschland, welches kundenindividuelle Pneumatikzylinder herstellt. Die Arbeitsaufgabe des Arbeitssystems ist die Fertigung der Kolbenstangen auf einer DMG Mori CLX 450 TC CNC-Drehmaschine. Die Arbeitsperson in dem Arbeitssystem hat als Arbeitsaufgabe die Materialversorgung, das Schreiben der CNC-Programme, das Rüsten der Drehmaschine und das Überwachen der Fertigung sowie die Kontrolle der Qualität der produzierten Teile. Die Arbeitsperson ist ein 45 Jahre alter Facharbeiter mit einer Ausbildung zum Zerspanungsmechaniker und hat eine Betriebszugehörigkeit von 8 Jahren.“

Für dieses Arbeitssystem wurden von den LLM „Gemini“ und „Chat GPT“ die Einflussfaktoren identifiziert[20]. Der Fokus lag auf der Ableitung von Erkenntnissen für die Arbeitssystemgestaltung, so dass insbesondere Einflussfaktoren auf die Arbeitsfähigkeit nach Ilmarinen (2009) identifiziert wurden. Die identifizierten 22 Einflussfaktoren betrachten die vier „Stockwerke“ des Hauses für Arbeitsfähigkeit – 1. Etage: Gesundheit und Leistungsfähigkeit, 2. Etage: Kompetenz (Wissen und Können), 3. Etage: Werte, Einstellungen und Motivation, 4. Etage: Arbeit (Arbeitsbedingungen & Führung) – und interne Einflussfaktoren (Systemfaktoren) des Arbeitssystems sowie externe Einflussfaktoren (Umfeldszenarien). Anschließend wurden für die Einflussfaktoren durch die LLM acht Schlüsselfaktoren abgeleitet und mögliche alternative Entwicklungen zu Projektionen zusammengeführt[21]. Tabelle 2 stellt für vier Schlüsselfaktoren drei unterschiedlichen Projektionen vor.

Tabelle 2: *Auswahl an Schlüsselfaktoren für das Arbeitssystem CNC-Drehen.*

Schlüsselfaktor	**Projektion 1:** Kontinuierlicher Trend	**Projektion 2:** Progressive Transformation	**Projektion 3:** Kritische Stagnation
1. Technologischer Automatisierungsgrad	Teilautomatisierung durch Stangenlader; manuelles Entladen bleibt Standard.	Vollautomatisierte Zelle: Ein Cobot übernimmt Be- und Entladung sowie einfache Entgratung.	Geringe Automatisierung aufgrund hoher Varianz; physische Belastung bleibt hoch.
2. Digitaler Kompetenzbedarf	Facharbeiter nutzt bestehende Zyklen-oberflächen der Steuerung (ShopTurn).	Facharbeiter steuert KI-basierte CAM-Systeme und nutzt Digital Twins zur Simulation.	Überforderung durch zu komplexe Software; Rückfall in konservative, langsame Programmierung.
3. Ergonomische Arbeitsplatzgestaltung	Standard-Maßnahmen (Matten, Gehörschutz) werden beibehalten.	Exoskelette beim Rüsten und intelligente Absaugsysteme für 100% reine Atemluft.	Verschlechterung der Ergonomie durch steigende Taktzahlen bei alternder Infrastruktur.
8. Führung & Kultur	Weisungsorientierte Führung durch den Inhaber des KMU.	Mitarbeiter wird zum „Unternehmer am Arbeitsplatz“ mit Budgetverantwortung für Werkzeuge.	Demotivation durch Top-Down-Entscheidungen; Facharbeiter „Dienst nach Vorschrift“.

In der Matrix in Tabelle 3 werden die Projektionen (kontinuierlicher Trend, progressive Transformation, kritische Stagnation) gegeneinander geprüft und für die logischen Kernbeziehungen der Schlüsselfaktoren dargestellt. Die Konsistenzmatrix zeigt, dass Faktor 2 (Kompetenz) und Faktor 8 (Führung) die „Treiber“ für die Arbeitsfähigkeit im Sinne von Ilmarinen (2009) sind. Ohne eine moderne Führungskultur werden technologische Investitionen (Automatisierung) nicht die gewünschte Entlastung für den Facharbeiter bringen. Die Beschreibung der zwei wesentlichen Szenarien ist mit Gemini 3 Pro erfolgt. Für diese Szenarien erfolgte durch das LLM (Gemini 3 Pro) die Entwicklung einer Roadmap mit Umsetzungsplan zur Unterstützung der Entscheidungsträger (s. Abbildung 2).

[20] Prompt: *„Für das Arbeitssystem soll eine Szenario-Management Studie durchgeführt werden. Welchen Einflussfaktoren sind in Bezug auf die Arbeitsfähigkeit nach Ilmarinen zu beachten?“*
[21] Prompt: *„Kannst Du die identifizierten Einflussfaktoren zu Schlüsselfaktoren für eine Projektionen von Schlüsselfaktoren auf acht relevante reduzieren?“*

***Tabelle 3**: Konsistenzmatrix für das Arbeitssystem CNC-Drehen.*

Faktoren & Projektionen	1.2 | Progressive Automatisierung	2.2 | Progressive Digitalkompetenz	3.3 | Kritische Ergonomie	7.2 | Progressive Arbeitszeit
1.2 Automatisierung (Progressiv)	--	5	1	4
2.2 Digitalkompetenz (Progressiv)	5	--	3	5
3.3 Ergonomie (Kritisch)	1	3	--	1
8.2 Führung/Kultur (Progressiv)	4	5	1	5
5 (Starke Unterstützung): Die Projektionen bedingen sich gegenseitig. 3 (Neutral/Konsistent): Beide können unabhängig voneinander koexistieren. 1 (Inkonsistent/Widerspruch): Diese Kombination ist logisch fast unmöglich.				

Szenario 1: (Best-Case)
"Die Digitale Resilienz"

In diesem Szenario hat das KMU den technologischen Wandel als Chance zur Erhaltung der Arbeitsfähigkeit begriffen.

Situation: Der Facharbeiter fungiert heute eher als Prozess-Dirigent denn als klassischer Bediener. Die schwere körperliche Arbeit (Materialversorgung) wurde durch einen kollaborativen Roboter (Cobot) ersetzt, der die Kolbenstangen taktabhängig zuführt. Die Programmierung der komplexen Pneumatikzylinder erfolgt durch KI-gestützte Assistenzsysteme, die der Facharbeiter mit seinem jahrzehntelangen Erfahrungswissen validiert.

Arbeitsfähigkeit nach Ilmarinen:

- Gesundheit: Dank ergonomischer Hebehilfen und einer intelligenten Absaugung sind die physischen Belastungen minimal.
- Kompetenz: Er wurde kontinuierlich zum "Digitalen Zerspaner" weitergebildet. Sein Wissen wurde in einem digitalen Wissensspeicher gesichert.
- Motivation: Er fühlt sich als wertvoller Experte, der die moderne Technik beherrscht. Flexible Schichtmodelle erlauben ihm eine bessere Regeneration im Alter.

Kernbotschaft: Technologie dient hier als Enabler für ein langes, gesundes Arbeitsleben bei maximaler Flexibilität für Kundenwünsche.

Szenario 2: (Kritischer Fall)
"Der Analoge Engpass"

Dieses Szenario beschreibt eine Entwicklung, in der notwendige Investitionen und Anpassungen an die Demografie ausgeblieben sind.

Situation: Das Arbeitssystem ist durch Überlastung und Verschleiß geprägt. Die Anforderungen an kundenindividuelle Zylinder sind gestiegen, aber die Prozesse sind manuell geblieben. Der Facharbeiter muss immer häufiger unter hohem Zeitdruck rüsten und schwere Teile bewegen. Da die Software veraltet ist, verbringt er übermäßig viel Zeit mit der Fehlersuche in manuell geschriebenen Programmen.

Arbeitsfähigkeit nach Ilmarinen:

- Gesundheit: Chronische Rückenbeschwerden führen zu häufigen Fehlzeiten. Die psychische Belastung durch die hohe Verantwortung bei gleichzeitig veralteter Technik ist enorm.
- Kompetenz: Sein Fachwissen ist zwar noch vorhanden, aber er verliert den Anschluss an moderne Fertigungsstandards (Industrie 4.0).
- Motivation: Das KMU findet keinen Nachfolger, da der Arbeitsplatz als körperlich zu anstrengend und technologisch rückständig wahrgenommen wird. Die Führung reagiert mit Leistungsdruck auf Terminverzüge.

Kernbotschaft: Ohne Anpassung der Arbeitsumgebung und Qualifizierung wird der Facharbeiter zum gesundheitlichen und betrieblichen Risiko für das Unternehmen.

***Abbildung 1**: Beschreibung von zwei Szenarien für das Arbeitssystem CNC-Drehen.*

5. Limitationen, Fazit, Ausblick

Der Beitrag stellt basierend auf dem bestehenden Ansatz des Szenario-Management und unter Rückgriff auf bestehende LLM die Entwicklung von Szenarien für die Arbeitsgestaltung dar. Limitierend für den vorliegenden Beitrag ist zu berücksichtigen, dass die Funktionalität der LLM im Kontext der Szenarien-Entwicklung nicht bewertet

worden ist und somit auch kein Anspruch auf Vollständigkeit der identifizierten Schlüsselfaktoren oder der Projektionen besteht. Weiterhin ist kritisch anzumerken, dass die verwendeten Prompts und die beschriebenen, gefundenen Szenarien nicht zwingend eine optimale Projektion der multiplen Zukünfte darstellen, weil ggf. nicht alle Anforderungen und Randbedingungen für das Arbeitssystem identifiziert und dem LLM mitgegeben wurden.

***Abbildung 2**: Beschreibung von zwei Szenarien für das Arbeitssystem CNC-Drehen.*

Die zukünftige Forschung hat auf Basis der hier nachgewiesenen Eignung von LLM für die Bewertung von Arbeitsgestaltungsmaßnahmen eine nutzbare Methode zu entwickeln, die einen Beitrag leisten kann, die Wirtschaftlichkeit und Arbeitsfähigkeit von Unternehmen zu erhöhen. Die zu erwartenden Ergebnisse des aktuell startenden Projektes WAI-Lab stellen hierbei eine sehr gut anpassbare Blaupause für die weitere Nutzung des Ansatzes dar.

6. Literatur

Finke A, Siebe A (2016) Szenario-Management - Von strategischem Vorausdenken zu zukunftsrobusten Entscheidungen. Frankfurt/New York: Campus Verlag.

Goppold M, Müller M L, Thiem S, Tackenberg S, Frenz M, Nitsch V (2022) Lernmedienentwicklung für handlungs- und gestaltungsorientiertes, Augmented Reality-gestütztes Lernen aus Fehlern an CNC-Drehmaschinen - Zielkonflikte zwischen didaktischem Anspruch und technischer Umsetzung. bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online 43

Ilmarinen J (2009) Work ability – a comprehensive concept for occupational health research and prevention. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health 35:1-5.

Marthaler F, Gesk J W, Siebe A, Albers A (2020) An explorative approach to deriving future scenarios: A first comparison of the consistency matrix-based and the catalog-based approach to generating future scenarios. Procedia CIRP 91: 883-892

Danksagung: Das Projekt „*Gestaltung resilienter Arbeitsfähigkeit in der volatilen Wertschöpfung*“ (WAI-Lab) wird im Rahmen des Programms „Zukunft der Arbeit“ durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) und die Europäische Union über den Europäischen Sozialfonds Plus (ESF Plus) gefördert.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Management des Großprojektes Endlagersuche im Kontext von Sicherheit und Resilienz

Lisa SEIDEL, Nadine SCHMIDT

Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH
Eschenstraße 55, D-31224 Peine

Kurzfassung: Die Forderung nach Homogenität verschiedener Managementstrukturen ist für Organisationen mit der Anforderung nach hoher Zuverlässigkeit von besonderer Bedeutung. Zur Planung und Steuerung des Großprojektes Endlagersuche wurde ein ganzheitliches Projektmanagement als Sicherheitsmanagement aufgebaut, welches sich stetig weiterentwickelt und über die langen Projektlaufzeiten resilient mit sich ändernden Rand- und Rahmenbedingungen umgehen kann. Für die operative Umsetzung dieses integrierten Managementsystems wurden über die letzten Jahre strukturelle Elemente entwickelt, um den Projektfortschritt nicht nur termintreu weiter fortzuführen, sondern auch den Ansprüchen des StandAG hinsichtlich Reversibilität, Nachvollziehbarkeit, Lernbereitschaft und der Fähigkeit sich selbst zu hinterfragen gerecht zu werden.

Schlüsselwörter: Endlagersuche, Resilienz, Projektmanagement, Managementsysteme, Großprojekt, Sicherheit

1. Einführung

Homogenität unterschiedlicher Managementstrukturen ist für Großprojekte mit der Anforderung nach hoher Zuverlässigkeit von besonderer Bedeutung. Vor allem langlaufende Großprojekte, wie die Endlagersuche, müssen sich mit der Frage auseinandersetzen, wie sie mit sich ständig ändernden und teils unvorhergesehenen neuen Rand- und Rahmenbedingungen im Laufe der Projektlaufzeit umgehen. Der adäquate Umgang mit erwartbaren und unerwarteten Einflüssen ist entscheidend für die Systemintegrität solcher Projekte, wobei Resilienz eine wesentliche Eigenschaft auf individueller wie organisationaler Ebene darstellt (Seidel 2024).

Mit dem Standortauswahlgesetz (StandAG) wurde ein Verfahren zur Regelung der ersten Etappe des Entsorgungspfads hochradioaktiver Abfälle in Deutschland geschaffen. Das Vorhaben weist typische Merkmale eines Großprojekts auf, insbesondere hohe Komplexität und weitreichende organisatorische Auswirkungen, und markiert zugleich einen Neubeginn der zuvor kontrovers geführten Endlagersuche. Als selbsthinterfragendes System soll sich eine stetig weiterentwickelnde Kultur zwischen den beteiligten Institutionen etablieren, die offene Diskussionen ermöglicht (K-Drs. 268).

Die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) setzt als Vorhabenträgerin das Standortauswahlverfahren gemäß StandAG wissenschaftsbasiert, transparent und nachvollziehbar um und strebt eine kontinuierliche Verbesserung im Sinne des kontinuierlichen Lernens an.

Angesichts der jahrzehntelangen Laufzeit des Projekts dürfen erwartbare wie unerwartete interne und externe Einflüsse sowie projektimmanente Ungewissheiten keine

negativen Auswirkungen entfalten. Vor diesem Hintergrund wurde eine Managementsystemlandschaft implementiert, die die Resilienz des Gesamtprojekts stärkt und zugleich Agilität, Flexibilität und Adaptivität berücksichtigt.

2. Anforderungen an die Managementsysteme im Bereich Endlagerung radioaktiver Abfälle

Für die Umsetzung des Großprojektes der Endlagersuche sind ineinandergreifende Managementsysteme im Sinne einer integrierten Managementsystemlandschaft maßgeblich, um geordnete Strukturen und Prozesse zu schaffen und den Projektfortschritt über die langen Laufzeiten sicherzustellen.

Die Endlagerung radioaktiver Abfälle ist dem Bereich der Hochzuverlässigkeits-organisationen zuzuordnen. Mangels spezifischer regulatorischer Anforderungen an Managementsysteme von Endlagerorganisationen wurden bislang teilweise Analogien zu sicherheitstechnischen Regelwerken des Kerntechnischen Ausschusses (KTA) herangezogen, insbesondere zur KTA-Regel 1402 für den sicheren Betrieb von Kernkraftwerken. Mit der Empfehlung der Entsorgungskommission (ESK) vom 01.09.2021 wurde erstmals eine Leitlinie zum Sicherheitsmanagement in Endlagerorganisationen veröffentlicht, die Anforderungen an eine integrierte, sicher-heitsfokussierte Managementsystemlandschaft für Standortauswahl, Errichtung, Betrieb und Stilllegung von Endlagern formuliert. Sicherheitsmanagement wird darin als „Gesamtheit der Tätigkeiten zur sachgerechten Planung, Organisation, Steuerung und Kontrolle der Endlagerorganisation in Bezug auf Sicherheit und Resilienz“ (ESK 2021, S. 2).

3. Managementansatz und Projektorganisation des Großprojektes Standortauswahl

Zur Umsetzung der Anforderungen der ESK-Leitlinie (2021) und zum ganzheitlichen Betrieb des Großprojektes Standortauswahl wurde ein integriertes, sicherheits-fokussiertes Managementsystem etabliert, das Projekt-, Risiko-, Prozess- und Qualitätsmanagement verbindet und den Umgang mit erwartbaren wie unerwarteten Einflüssen über lange Laufzeiten ermöglicht (Seidel 2024). Das Sicherheitsmanage-ment fungiert dabei als übergeordneter Managementansatz zur Integration aller relevanten Systeme mit Blick auf Sicherheit und Resilienz (ESK 2021).

Das Großprojekt Standortauswahl stellt eines von vier langlaufenden Großprojekten in der BGE dar. Alle Großprojekte befinden sich in unterschiedlichen Phasen auf dem Entsorgungspfad radioaktiver Abfälle, weisen unterschiedliche Rand- und Rahmenbedingungen und Zielausrichtungen auf. Dementsprechend ist eine projektspezifische Ausrichtung der Projektorganisation und deren Management-systeme maßgebend zur Erreichung der jeweiligen Projektziele. Übergeordnete Anforderungen an die Projektorganisation, deren Management sowie die dahinterstehende Qualitäts- oder Risikopolitik sind zwar bedeutsam, angesichts der Komplexität der einzelnen Großprojekte in der BGE ist es jedoch notwendig, den Detaillierungsgrad von Vorgaben und die Unternehmenspolitik so zu gestalten, dass eine projektspezifische Ausrichtung möglich und erforderlich ist (Seidel 2024). Übergeordnete Vorgaben dienen als Baseline, müssen jedoch ausreichend Gestaltungsspielraum für projektspezifische Detaillierungen lassen, um Agilität, Flexibilität und Leistungsfähigkeit nicht durch Überregulierung oder Zentralisierung einzuschränken.

Für das Großprojekt Standortauswahl wurden daher strukturelle und prozessuale Elemente entwickelt, die eine enge operative Verzahnung der Managementsysteme unterstützen (Seidel 2024). Hierzu zählen unter anderem eine dynamisch weiterentwickelte RASI-Matrix zur klaren Zuordnung von Kompetenzen und Verantwortlichkeiten sowie ein transparentes Entscheidungsmanagement zur Förderung von Teamorientierung und moderner Führung. Um ein Langzeit-Großprojekt wie die Standortauswahl erfolgreich umzusetzen, sind nicht nur die prozessualen Elemente resilient, agil, flexibel und vor allem adaptiv auszurichten, sondern es sind in erster Linie die für die Umsetzung erforderlichen organisatorischen beziehungsweise institutionellen Elemente dafür zu schaffen und stetig weiterzuentwickeln. Die im Kontext des Managementkonzepts nach St.-Gallen erläuterte moderne Führungskultur bildet dabei den Kern der folgenden Entwicklungen. In dieser ist die Führungskraft nicht allein für das Treffen der erforderlichen Entscheidungen im Sinne einer Alleinherrschaft über das Team zuständig. Diese Führungskultur folgt einem systemischen Ansatz, in dem Führungskräfte als Coach und Teil des Teams agieren und Entscheidungen gemeinschaftlich vorbereitet werden. Die Abkehr von einer technokratischen Führung (Abbeglen & Bleicher 2017) hin zu einer innovativen Führungskultur wird durch organisatorische Strukturen und kollaborative Gremien unterstützt. Damit wird das Leadership im Zuge der strategischen Unternehmensführung (Hinterhuber 2015) neu aufgesetzt, da die Führungsautorität ein wesentlicher Aspekt für die Vulnerabilität der Arbeiten in Großprojekten ist. Zur Verbesserung der Entscheidungskultur wurde ab 2021 ein systematisiertes Entscheidungsmanagement implementiert. Maßgeblich für die Umsetzung des Entscheidungsmanagements ist das Anfang 2021 mitentwickelte und implementierte interne kontinuierliche Abstimmungsgremium (IKA). Dieses Gremium nimmt die Rolle des Entscheiders zu den eingebrachten Entscheidungsbedarfen ein und stellt die bereichsweite Diskussion und bei Bedarf den Einbezug der Geschäftsführung sowie Dritter sicher. Der Entscheidungsprozess priorisiert gemäß ESK-Leitlinie den Erhalt und die kontinuierliche Verbesserung des Sicherheitsniveaus gegenüber zeitlichen und finanziellen Aspekten.

Während des Prozessdurchlaufs beschäftigt sich das IKA auch mit der Entscheidungskategorie – Festlegung, Arbeitshypothese oder bewusste Offenhaltung, welcher die vorgebrachte Entscheidung zugeteilt wird. Das IKA übernimmt die Steuerung des Großprojektes, wobei die letztendliche Entscheidungshoheit bei der Großprojektleitung oder der Geschäftsführung liegt. Im Rahmen der Projektsteuerung nutzt das IKA unter anderem eine kontinuierlich weiterentwickelte Balanced Scorecard, die neben Kosten, Terminen und Leistung auch Aspekte wie Arbeitssicherheit, Risikolage, Prozessreife, Öffentlichkeitsarbeit und personelle Situation abbildet. Dadurch wird eine ganzheitliche Steuerung des Großprojektes ermöglicht.

Das Sicherheitsmanagement im Großprojekt Standortauswahl beschreibt die sicherheitsgerichtete Integration aller bestehenden und zukünftigen Management-systeme mit Fokus auf Arbeits-, Betriebs- und Langzeitsicherheit über alle Phasen der Standortauswahl sowie der späteren Errichtung, des Betriebs und der Stilllegung des Endlagers. Um die Integration der Managementsysteme im Kontext der sicherheitsgerichteten Fokussierung umzusetzen, wurde ein Beirat innerhalb des Großprojektes Standortauswahl aufgebaut. Dieser identifiziert Konflikte, erarbeitet Lösungsansätze und bringt diese als Entscheidungsvorlage ins IKA ein. Er fördert durch regelmäßige Sitzungen und Austauschformate die kontinuierliche Verbesserung der prozessualen und strukturellen Ebenen im Großprojekt. Der Beirat trifft keine Entscheidungen, sondern greift Konflikte und offene Punkte auf, erarbeitet Vorschläge für das IKA und berät dieses.

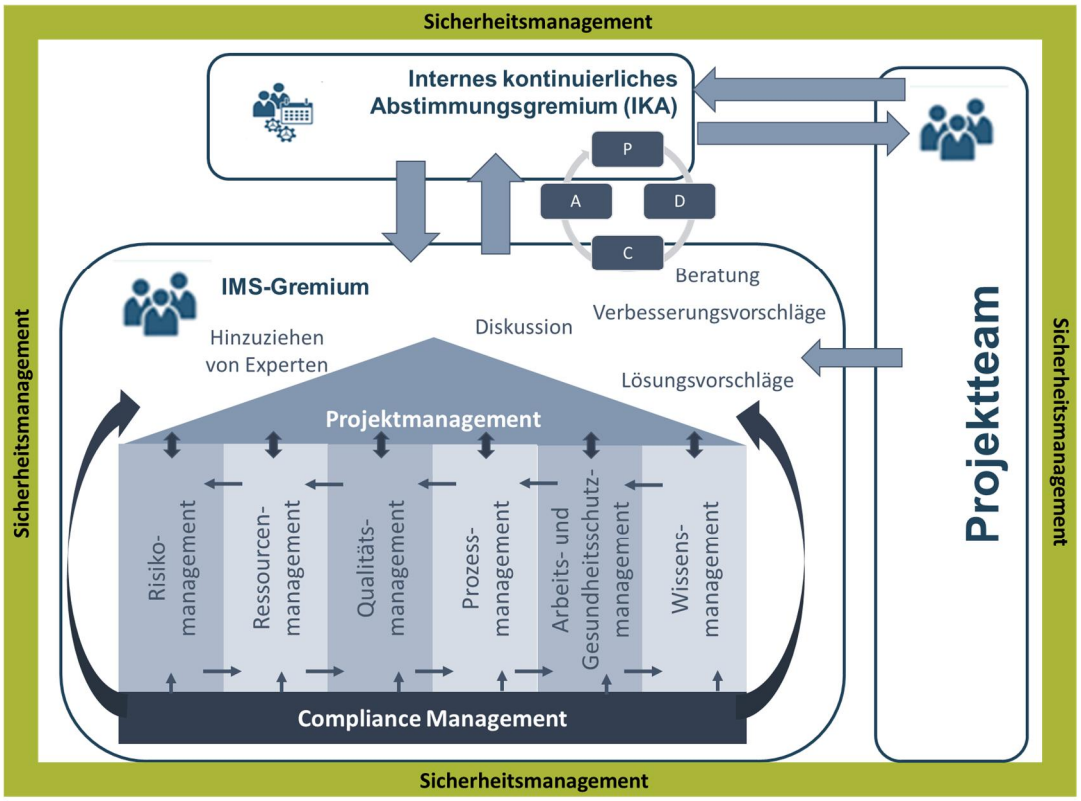


Abbildung 1: *Wirkweise des Beirates im Kontext zwischen dem IKA und dem Projektteam (Seidel 2024).*

4. Diskussion

In langlaufenden Großprojekten ist mit Veränderungen, der Rand- und Rahmenbedingungen proaktiv umzugehen. Projektorganisation und die Managementsystemlandschaft müssen so gestaltet sein, dass die Funktions- und Leistungsfähigkeit des Projektes gewährleistet ist und eine kontinuierliche Verbesserung stattfindet (Seidel 2024). Die Notwendigkeit eines Entscheidungs-managements ergibt sich aus den Eigenschaften von Großprojekten – hochkomplex, langwierig, innovative Aufgaben – und einem hohen Maß an Ungewissheiten. Für den Aufbau eines Entscheidungsmanagements, welches gewährleistet, dass Entscheidungsbedarfe eingebracht, diskutiert, entschieden, dokumentiert, regelmäßig hinterfragt und bei Bedarf revisioniert werden, wurde in Analogie zu einem Projektlenkungskreis ein Abstimmungsgremium (IKA) im Großprojekt Standortaus-wahl implementiert. Das IKA dient der Steuerung des Großprojektes und der Umsetzung des Entscheidungsmanagements. Das Entscheidungsmanagement sorgt für einen formalen Ablauf für das Einbringen von Entscheidungsbedarfen und einer regelmäßigen Wiedervorlage im Sinne des lernenden und selbsthinterfragenden Verfahrens. Des Weiteren wird im Sinne des iterativen Charakters von Großprojekten innerhalb des Entscheidungsprozesses zwischen den Kategorien Festlegung, Arbeitshypothese und bewusster Offenhaltung unterschieden. Damit können auch innovative Ideen in Form von Arbeitshypothesen entschieden und entsprechend weiter ausdifferenziert werden, ohne sich bereits darauf festlegen zu müssen. Das Entscheidungsmanagement bringt mit seiner prozessualen Umsetzung strukturelle Elemente zur Verbesserung der resilienten, agilen, flexiblen und adaptiven

Ausrichtung der Managementsysteme mit ein. Zudem ist es verknüpft mit einem durchführenden Organ, dem im Sinne eines Lenkungskreises agierenden IKA, welches neben dem prozessualen Aspekt eine wichtige Funktion hin zur Verbesserung der Führungskultur und des Teamgedankens in Großprojekten umsetzt.

Ein weiteres strukturelles Element, welches mit Blick auf die Integration der Managementsysteme die Resilienz steigert, ist der Beirat. Dieser setzt das Sicherheitsmanagement und den dahinterstehenden Ansatz einer sicherheitsgerichteten Integration der Managementsysteme operativ und kontinuierlich um und überwacht den damit einhergehenden KVP. Der Beirat setzt das Sicherheitsmanagement innerhalb des Großprojektes operativ um, indem es Konflikte zwischen den Managementsystemen und deren Prozessen, sowie Optimierungspotenziale identifiziert oder gemeldete Konflikte und offene Fragestellungen bearbeitet. Es entwickelt Lösungs- und Handlungsvorschläge, welche in Form von Entscheidungsvorlagen in das IKA eingebracht werden und fördert durch regelmäßige Sitzungen und Austauschformate die kontinuierliche Verbesserung der prozessualen und strukturellen Ebenen im Großprojekt.

Die Organisation von Großprojekten in Unternehmen ist ein weiterer wesentlicher Aspekt, um die Funktionalität und Leistungsfähigkeit sicherzustellen. Verschiedene Organisationsformen prägen Unternehmen. Zentral und als Matrix organisierte Unternehmen zeigen gute Resultate bei ähnlichen Produkten. Großprojekte in Hochzuverlässigkeitsbereichen eignen sich aufgrund ihrer Eigenschaften – hochkomplex, innovativ, langwierig – nur eingeschränkt für eine Abwicklung in einer Matrixstruktur (Seidel 2024). Unternehmen mit mehren Großprojekten wie die BGE müssen die kollektive Führung im Sinne des Leadership und die Verantwortungsübernahme von Mitarbeitenden und Führungskräften fördern. Besonders Langzeit-Großprojekte erfordern ein hohes Maß an Durchhaltevermögen und Motivation der Mitarbeitenden, um die Projektplanungen einhalten und die Projektziele erreichen zu können. Eine auf die Projektkernkompetenzen ausgerichtete Organisation von Großprojekten hilft, die Flexibilität und Agilität zu unterstützen, sowohl bei zu erwartenden Veränderungen als auch bei Störungen und unerwarteten Veränderungen. Temporär benötigte Kompetenzen eignen sich gut für eine unternehmensweite Dezentralisierung, um einem unnötigen Aufblähen der Projektorganisation entgegenzuwirken und die Flexibilität und Agilität nicht durch die Projektgröße zu schwächen. Innerhalb der Aufbauorganisation der Großprojekte, zum Beispiel dem Großprojekt Standortauswahl, scheint ein dezentraler Projektorganisationsaufbau durchaus sinnvoll (Seidel 2024). Durch die langen Projektlaufzeiten und den innovativen und iterativen Charakter des Verfahrens werden sich nicht nur die Detaillierungsgrade der Arbeiten mit laufendem Projektfortschritt sukzessive erhöhen, sondern auch die einzelne Ausrichtung der Arbeiten ändern. Kernkompetenzen sollten zentral in den einzelnen Großprojekten aufgehängt sein, nur temporär benötigte Kompetenzen dagegen als Querschnittsfunktion.

5. Literatur

Abbeglen, C. & Bleicher, K. (2017): *Das Konzept integriertes Management*. 9. Aufl. Management. Frankfurt, New York: Campus Verlag. ISBN 978-3-593-50599-2

ESK (2021): *Leitlinie zum Sicherheitsmanagement in Endlagerorganisationen. Empfehlung der Entsorgungskommission vom 01.09.2021*. Entsorgungskommission. Bonn

Hinterhuber, H. H. (2015): *Strategische Unternehmensführung*. Berlin: Erich Schmidt Verlag

K-Drs. 268: Abschlussbericht der Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe. Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe, Berlin, 5. Juli 2016

KTA 1402: *Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses (KTA): Integriertes Managementsystem zum sicheren Betrieb von Kernkraftwerken; Fassung 2017-11*. Berlin: Bundesanzeiger

Seidel, L. (2024): *Resilienz in Managementsystemen als Voraussetzung für die Systemintegrität in Großprojekten am Beispiel der Standortauswahl für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle*. [Dissertation]. Universität Kassel. Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Kassel

StandAG: Standortauswahlgesetz vom 5. Mai 2017 (BGBl. I S. 1074), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist

Soziale Zugehörigkeit als fragile Gesundheitsressource hybrider Arbeit

Ilana NUSSBAUM BITRAN, Guido BECKE

Institut Arbeit und Wirtschaft, Universität Bremen, Domshof 26, D-28195 Bremen

Kurzfassung: Soziale Zugehörigkeit bildet eine relevante Gesundheitsressource für Erwerbstätige, die durch die Diffusion hybrider, d.h. ortsflexibler und multilokaler Arbeitskonzepte unter Veränderungsdruck gerät. Anhand von empirischen Zwischenergebnissen qualitativer Betriebsfallstudien in unterschiedlichen Dienstleistungsbranchen wird analysiert, inwiefern diese Gesundheitsressource durch hybride Arbeit beeinträchtigt wird und unter welchen Voraussetzungen hybride Arbeit sozialintegrativ gestaltet werden kann.

Schlüsselwörter: Hybride Arbeit, soziale Zugehörigkeit, Bindung, sozialintegrative Gestaltung hybrider Arbeit, Gesundheitsressourcen

1. Einleitung: Soziale Zugehörigkeit unter Veränderungsdruck

Bei sozialer Zugehörigkeit handelt es sich um ein menschliches Grundbedürfnis, das für die psychosoziale Gesundheit und die Bindung an unterschiedliche soziale Kontexte von essentieller Bedeutung ist (vgl. Allen et al. 2021). Zugehörigkeit bezeichnet eine „emotionsgeladene soziale Verortung, die im Wechselspiel zwischen der Gemeinsamkeit, der Gegenseitigkeit und der materiellen und immateriellen Anbindungen zu sehen ist“ (Pfaff-Czarnecka 2018, S. 5 f.). Sie basiert auf gemeinsam geteilten Erfahrungen und Wissensbeständen, auf reziproken sozialen Beziehungen in Gestalt sozialen Austausches sowie auf Bindungen an immaterielle wie materielle Objekte (ebd., S. 6 ff.). Im Kontext der Arbeitswelt kann sich soziale Zugehörigkeit auf drei Referenzobjekte richten: die Teilhabe am gesellschaftlichen Leistungsaustausch durch Erwerbsarbeit, berufliche Bindungen und Bindungen an Erwerbsarbeitsorganisationen, wobei sich letztere ausdifferenzieren können, etwa in Bindungen an Teams oder Tätigkeitsgruppen bzw. kollegiale Zugehörigkeit (Becke 2018, S. 271 ff.). Seit der Coronapandemie haben hybride Arbeitskonzepte, die durch ein orts- und zeitflexibles Arbeiten an unterschiedlichen Arbeitsorten, wie Büro, Homeoffice, Co-Working-Spaces oder das Arbeiten von unterwegs, gekennzeichnet sind, an Verbreitung gewonnen. Sie setzen soziale Bindungen an Unternehmen bzw. Betriebe sowie auch kollegiale Bindungen unter Veränderungsdruck. Erwerbsarbeitsorganisationen drohen als soziale Orte der Begegnung, der Arbeitskooperation und des informellen Austausches an Bedeutung einzubüßen, wenn Zusammenarbeit in größerem Umfang in virtuelle Arbeitsräume verlagert und Büroflächen aus Kostengründen abgemietet werden (vgl. Becke & Nussbaum Bitran 2025). Im Folgenden soll anhand bisheriger betrieblicher Fallstudienergebnisse explorativ analysiert werden, inwiefern die Gesundheitsressource sozialer Zugehörigkeit durch hybride Arbeitskonzepte beeinträchtigt wird und unter welchen Voraussetzungen sich diese Ressource auch bei hybrider Arbeit erhalten lässt. Wir beziehen uns hier auf fünf qualitative Betriebsfallstudien aus den Branchen Öffentliche Kommunalverwaltung, IT-Dienstleistung und Branchen, die im Rahmen des von der

Hans-Böckler-Stiftung geförderten Projekts ‚Hybride Arbeit als Herausforderung betrieblicher Sozialität' erfolgten, das an der Universität Bremen bearbeitet wird.

2. Soziale Zugehörigkeit als Gesundheitsressource

In arbeits- und gesundheitswissenschaftlicher Perspektive bezeichnen Gesundheitsressourcen "Faktoren in der Person und in der Umwelt, auf die das Individuum bei Bedarf zurückgreifen kann, um die Gesundheit zu erhalten oder, bei einer Störung, wiederherzustellen" (Greiner 1998, S. 50). In dieser Perspektive wird soziale Zugehörigkeit als relevante soziale wie psychische Gesundheitsressource verstanden, wonach das Gefühl sozialer Bindung oder Zugehörigkeit definiert wird als „the experience of personal involvement in a system or environment so that persons feel themselves to be an integral part of this system or environment" (Haggerty et al. 1992, S. 173). Das Gefühl sozialer Zugehörigkeit umfasst demnach zwei zentrale Komponenten: wertgeschätzte Einbindung (valued involvement) als „the experience of feeling valued, needed, and accepted" und die identitätsbezogene Passung (fit) als „the person's perception that his or her characteristics articulate with or complement the system or environment" (ebd.). Generell verdeutlichen Forschungsbefunde, dass ein starkes Erleben sozialer Bindung in unterschiedlichen Kontexten (inklusive Arbeitsorganisationen) das psychosoziale Wohlbefinden von Menschen positiv beeinflusst und eine psychische Pufferwirkung, etwa bei Angstgefühlen und depressiven Verstimmungen, aufweist (Evans & Gilmore 2024). Ein erlebter Mangel an sozialer Bindung sowie Gefühle von Einsamkeit und sozialer Isolation korrespondieren hingegen mit Depressionssymptomen und einem erhöhten Risiko von Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Imboden 2024); sie erweisen sich als relevante gesundheitsschädigende Stressoren in der Erwerbsarbeit (Petitta & Ghezzi 2025).

Die Verbreitung hybrider Arbeitskonzepte in der postpandemischen Arbeitswelt kann die Gesundheitsressource sozialer Zugehörigkeit beeinträchtigen, da sich die unmittelbare physische Kopräsenz von Kolleg:innen bzw. die direkte Interaktion von Führungskräften mit Mitarbeitenden am Arbeitsplatz abschwächt und ortsflexible bzw. virtuelle Kooperationsformen in digitalen Arbeitsräumen an Bedeutung gewinnen. Aus der gesundheitswissenschaftlichen Forschung ist bekannt, dass die Beeinträchtigung von Ressourcen, die für Beschäftigte einen hohen Stellenwert aufweisen, einen starken potenziellen Stressor darstellt (vgl. Hobfoll et al. 2018). Zu den Auswirkungen hybrider Arbeitskonzepte auf das Erleben sozialer bzw. organisationaler Zugehörigkeit sowie auf das Wohlbefinden von Beschäftigten liegen bisher kaum Erkenntnisse vor. Vorhandene empirische Befunde belegen, dass Beschäftigte, die häufiger remote arbeiten, insbesondere den Verlust informellen sozialen Austausches mit Kolleg:innen beklagen und sich weniger in die betriebliche Alltagskommunikation eingebunden fühlen (vgl. Hyrynsalmi et al. 2025). Gleichwohl wird in vorhandenen Studien auch deutlich, dass der Arbeitsort allein kein eindeutiger Prädiktor für das Erleben organisationaler Zugehörigkeit ist (Dalessando & Lovell 2024). So zeigt sich, dass die Beteiligung von Beschäftigten an der Gestaltung hybrider Arbeitskonzepte das Wohlbefinden erhöht und das Gefühl organisationaler Bindung fördert (Petitta & Ghezzi 2025). Zugleich wird deutlich, dass auf unterschiedlichen Ebenen (Person, Team und Organisation) soziale Praktiken und spezifische Maßnahmen relevant sind, um soziale bzw. organisationale Zugehörigkeit als Gesundheitsressource bei hybrider Arbeit zu fördern (vgl. Hyrynsalmi et al. 2025; Urilla et al. 2025).

3. Beeinträchtigung der Gesundheitsressource durch hybride Arbeit

Da hybride Arbeit die persönliche Interaktion zwischen Kolleg:innen am Arbeitsort verringert, sind gesundheitliche Auswirkungen in Bezug auf die soziale Zugehörigkeit zu erwarten. Ortsflexibles Arbeiten bringt einige Risiken mit sich, die mit wichtigen Bestandteilen des sozialen Zusammenhalts in Verbindung stehen. In unseren fünf Betriebsfällen haben wir drei Dimensionen der sozialen Zugehörigkeit identifiziert, die durch hybride Arbeit beeinträchtigt werden und Gesundheitsrisken bergen.

Die erste Dimension befasst sich mit dem *Wissensaustausch.* Der Wissensaustausch scheint in der persönlichen Interaktion effektiver zu sein, da nicht nur bestimmte Informationen vermittelt werden, sondern auch eine dialogorientiert-reflexives Vorgehen möglich ist. Mimik und Körpersprache können in der Online-Kommunikation verloren gehen, wodurch es schwieriger wird, zu überprüfen, ob die Person das Vermittelte vollständig verstanden hat und dies eventuell zu zwischenmenschlichen Konflikten führen kann. Wichtige Phasen der Wissenskommunikation und des Wissenstransfers sind Einarbeitungsprozesse und die Ausbildungszeit. In beiden Fällen waren sich unsere Interviewpartner:innen und Gruppendiskussionsteilnehmer:innen einig, dass eine gewisse Anwesenheitszeit am Arbeitsplatz erforderlich ist. Das bedeutet, dass nicht nur die Person, die lernt, anwesend sein sollte, sondern auch andere Kolleg:innen, da Wissen innerhalb eines Teams fließen sollte. Dies trägt nicht nur zum Wissensaustausch bei, sondern auch zum Aufbau eines Wissensnetzwerks und ermöglicht so soziale Kontakte, die in Zukunft bei der Lösung von Fragen oder mit guten Ratschlägen helfen können. Bei der Arbeit im Homeoffice neigen Arbeitnehmer:innen dazu, in eine individuelle Arbeitssituation einzutauchen und können ihre Erfahrungen nicht schnell mit anderen teilen. Dies wurde als Problem angesehen, da Arbeitnehmer:innen nicht mehr automatisch Kontextinformationen erhalten, wie es früher der Fall war, als sie überwiegend am Arbeitsplatz tätig waren. Ein klares Beispiel hierfür ist das Lernen durch Zuhören, was andere Kolleg:innen sagen, und die Nutzung der Gelegenheit, Fragen zu stellen und das eigene Wissen zu reflektieren.

Die zweite Dimension der sozialen Zugehörigkeit, die durch hybrides Arbeiten beeinträchtigt werden kann, ist die *soziale und kollegiale Unterstützung*. Vertrauensbeziehungen können durch den seltenen persönlichen Kontakt am Arbeitsplatz negativ beeinflusst werden. Dies kann zu einer weniger guten Zusammenarbeit innerhalb des Teams sowie zur Entwicklung von Vorurteilen, Misstrauen und Konflikten zwischen Kollegen führen, insbesondere zwischen Kolleg:innen, die häufig im Büro arbeiten und jenen, die überwiegend von zu Hause aus arbeiten. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn es zu einer Verschiebung von Arbeitspaketen kommt. Einige Aufgaben können nicht außerhalb des Arbeitsplatzes erledigt werden (z. B. Drucken, Unterzeichnen und Versenden von Briefen) und werden möglicherweise an Kolleg:innen vor Ort weitergereicht, wodurch diese mit Mehrarbeit belastet werden, die eigentlich nicht in ihren Aufgabenbereich fällt. Dies kann zu einer Fragmentierung der Belegschaft führen und zur Entwicklung von, was ein Interviewpartner als *“Geisterfahrerteams”* genannt hat: “*Also eine Horde von Einzelkämpfer, die nicht als Team zusammengewachsen sind oder die sich über die Zeit verloren haben”* (Bank_6_BR, Absatz 279).

Die letzte Dimension lässt sich unter dem *Begriff informeller sozialer Austausch* zusammenfassen. In einer nicht-hybriden Arbeitssituation treffen sich Kolleg:innen am Arbeitsplatz und entwickeln in der Regel eine Sozialität, die über die kollegiale Unterstützung bei der Bewältigung von Arbeitsaufgaben hinausgeht. Diese informelle

arbeitsbezogene, aber auch eher private Form der Sozialität, in der Themen wie Urlaubspläne, Kinder oder andere persönlichen Angelegenheiten besprochen werden, leidet unter ortsunabhängigen Arbeitsformen. Was sich spontan vor der Kaffeemaschine oder in der Teeküche ereignet, findet in einer Online-Umgebung in der Regel nicht statt. Die Kolleg:innen sind aufgefordert, selbst Verantwortung für die Schaffung dieser Räume zu übernehmen und, was wir koordinierte Sozialität nennen, zu entwickeln. Aber nicht jede:r verfügt über die gleichen sozialen Kompetenzen. Manche Menschen verschwinden möglicherweise aus dem sozialen Raum und driften in die Isolation ab. Kolleg:innen bemerken diese Situation eventuell nicht, und wie ein Interviewpartner sagte: *"Menschen, die vielleicht auch sehr schüchtern, zurückhaltend sind und sich deswegen von allein nicht melden, wenn etwas ist und das System es ihnen ermöglicht, komplett verloren zu gehen"* (IT-Bank_11_GD HO, Absatz 552), sind potenzielle Verlierer:innen in der hybriden Arbeitswelt.

4. Soziale- integrative Gestaltungsansätze hybride Arbeit

Wie wir gezeigt haben, gerät soziale Zugehörigkeit als Gesundheitsressource unter Veränderungsdruck, da in virtuellen, Kooperationsformen die drei skizzierten Dimensionen Gesundheitsrisiken aufweisen. Aber hybride Arbeit lässt sich sozial integrativ gestalten. Für die Analyse unterscheiden wir drei Ebenen, auf denen Maßnahmen zur Förderung einer gesundheitsförderlichen und sozial integrativen Gestaltung hybrider Arbeit ergriffen werden können. In der Realität sind diese drei Ebenen miteinander verflochten, und Veränderungen auf einer Ebene können sich direkt auf die anderen auswirken.

Auf *Makroebene* haben wir die *Entwicklung der Organisationskultur* identifiziert. Betriebe, die ein klares und fokussiertes Kulturentwicklungsprogramm entwickelt haben, fördern in der Regel die Bindung zwischen dem Unternehmen als solchem und den Arbeitnehmer:innen. Durch die Schaffung einer unternehmensweiten Identität ermöglichen sie es Teams und Mitarbeiter:innen, sich daran zu orientieren und sich somit als Teil einer größeren Gruppe von Menschen zu fühlen, die bestimmte Werte teilen. Diese Verbindung zum Unternehmen kann dazu beitragen, das Gefühl der Isolation oder den Verlust einer gemeinsamen Arbeitsgemeinschaft zu verringern, selbst wenn hybrides Arbeiten praktiziert wird. Diese Werte und diese Kultur sollten nicht nur auf dem Papier stehen, sondern täglich gelebt und gezeigt werden. Vor allem die höheren Führungspositionen spielen eine wichtige Rolle, indem sie mit gutem Beispiel vorangehen und entsprechend der Unternehmenskultur handeln. Diese Unternehmenskultur agiert als ein Schirm für die zwei Ebenen darunter.

In der mittleren Position, d.h. der *Mesoebene*, haben wir uns auf die *betriebliche Rahmenregelungen* konzentriert. Betriebsvereinbarungen, die den Zugang zu hybridem Arbeiten, die Nutzung des Raums am Arbeitsplatz (z.B. Desk Sharing, Buchungszonen für unterschiedlichen Teams), die erforderliche Ausstattung für die Arbeit von zu Hause aus und andere unternehmensweite interne Anweisungen regeln, sind wichtig, um einen verbindlichen Rahmen zu schaffen, in dem verschiedene Teams agieren und sich organisieren können und damit sozialen Zusammenhalt im Team fördern. In unseren Betriebsfallstudien wurden in den meisten Fällen keine strengen Vorschriften für hybrides Arbeiten erlassen, sondern Empfehlungen ausgesprochen oder eine Höchstzahl festgelegt, wie viele Tage pro Woche/Monat die Arbeitnehmer:innen am Arbeitsplatz anwesend sein sollten. Von großer Bedeutung scheint es zu sein, Strategien zur Rückkehr ins Büro zu vermeiden, die einen Bruch

mit dem neu geschaffenen psychologischen Vertrag darstellen. Während der Covid-Pandemie, als in den meisten Fällen hybrides Arbeiten eingeführt wurde oder an Bedeutung gewann, lernten die Arbeitnehmer:innen eine neue arbeitsbezogene Ortsflexibilität, insbesondere das Arbeiten im Homeoffice, und deren Vorteile (z. B. mehr Flexibilität und Work-Life-Balance) kennen. Bei der Reduzierung der Homeoffice-Zeit sollten Unternehmen berücksichtigen, dass eine Rückkehr zu den Arbeitsbedingungen vor Corona nur Frustration und Misstrauen gegenüber dem Unternehmen hervorrufen kann, was wiederum zu einer Distanzierung zwischen Arbeitnehmer:innen und Arbeitgeber:innen führt. Gute, konsistente Betriebsvereinbarungen tragen dazu bei, die Fragmentierung der Belegschaft zu vermeiden und ermöglichen dennoch ein gewisses Maß an Freiheit und Flexibilität.

Maßnahmen zur Unterstützung einer sozialen integrativen hybriden Arbeit sollten auch auf der Mikroebene, d.h. der *Teamebene*, ergriffen werden. Teamregeln können dabei helfen, einen Rahmen zu schaffen, in den die Beziehungen zwischen Kolleg:innen eingebettet sind. In der Regel legen diese Regeln die Präsenztage fest, an denen sich alle Mitarbeiter:innen eines Teams am Arbeitsplatz treffen, um gemeinsam zu arbeiten und Vertrauen aufzubauen und zu pflegen, unter anderem durch informelle Gespräche, Zusammenkünfte und andere Veranstaltungen. Andere häufig auf Teamebene geregelten Praktiken sind die Verwendung der Kamera bei Online-Meetings, eine bestimmte festgelegte Kommunikationsroutine während der Woche und transparente Erreichbarkeitszeiten. Unsere Interviewpartner:innen und Gruppendiskussionsteilnehmer:innen waren sich einig, dass diese Teamregeln nicht vom/r Teamleiter:in auferlegt werden sollten, sondern innerhalb des Teams mit Unterstützung der Führungskraft entwickelt werden sollten. Dies ermöglicht eine größere Legitimation der Regeln und Verantwortlichkeit innerhalb der Teams. Führungskräfte spielen eine wichtige Rolle, wenn es um Teambildung und soziale Zugehörigkeit geht. Sie fungieren als Bindeglied zwischen der Ebene der Betriebsvereinbarungen und dem Team, das diese Vereinbarungen in die Arbeitsdynamik innerhalb des Teams umsetzen muss. Führung auf Distanz kann komplex sein, da Führungskräfte möglicherweise weniger Einblick in die Arbeitssituation ihrer Mitarbeiter:innen haben, insbesondere in großen Teams, was dazu führen kann, dass Teammitglieder „verloren gehen" und langsam in ihren Homeoffices verschwinden. Daher sollen Führungskräfte die Sinnhaftigkeit und einen Mehrwert persönlicher Treffen verdeutlichen, um Teammitglieder zu motivieren, ins Büro zu kommen und miteinander zu interagieren. In Teams, die agil arbeiten und komplexe Aufgaben lösen müssen, ist die Zusammenarbeit innerhalb des Teams ein Muss und kann daher zusammen mit einem soliden Management des Teams dazu beitragen, Teamgeist und Zugehörigkeitsgefühl zu entwickeln und wiederum die Bedeutung von Treffen und Zusammenarbeit zu stärken.

5. Fazit/Ausblick

Organisationale Zugehörigkeit bildet eine relevante Gesundheitsressource, die soziale Identifikation, sozialen Austausch und psychosoziales Wohlbefinden fördern kann. Hybride Arbeitskonzepte, die ein digital gerahmtes arbeiten an unterschiedlichen Arbeitsorten vorsehen, können, wie unsere empirischen Befunde aus den fünf Betriebsfallstudien zeigen, diese Gesundheitsressource beinträchtigen, insbesondere auf den Dimensionen des Wissensaustausches, der sozialen bzw. kollegialen Unterstützung und des informellen sozialen Austausches. Hiermit können weitere

psychosoziale Arbeitsbelastungen, etwa infolge von Arbeitsintensivierung, Konflikten bei der Arbeit oder soziale Isolation, einhergehen. Gesundheitsbezogene Präventionsmaßnahmen bzw. Interventionen mit Blick auf die organisationale Zugehörigkeit sollten auf drei miteinander verbundenen Ebenen ansetzen: der Organisationskulturentwicklung, der betrieblichen Rahmenregelung hybrider Arbeit und der Teamebene.

Perspektivisch sollte unseres Erachtens näher untersucht werden, inwiefern das Erleben organisationaler Zugehörigkeit mit dem Kohärenzgefühl von Beschäftigten assoziiert ist (vgl. Antonovsky 1987) und inwiefern das organisationale Zugehörigkeitserleben gefördert wird, wenn hybride Arbeit so gestaltet wird, dass sie die Verstehbarkeit, Handhabbarkeit und Sinnhaftigkeit des Arbeitshandelns von Beschäftigten in multilokalen Arbeitskontexten erhöht.

6. Literatur

Allen K-A, Kern M L, Rozek C S, McInerney D M, Slavich G M (2021) Belonging: A review of conceptual issues, and integrative framework, and directions for future research. Australian Journal of Psychology 73(1): 87-102.

Antonovsky A (1987) Unraveling the mystery of health. How people manage stress and stay well. San Francisco: Jossey Bass.

Becke G (2018) Soziale Zugehörigkeit – eine fragile organisationale Resource bei digitaler und vermarktlichter Arbeit. In: Geramanis O, Hutmacher S (Hrsg) Identität in der modernen Arbeitswelt. Wiesbaden: Springer Gabler, 267-281.

Becke G, Nussbaum Bitran I (2025) Hybride Arbeitskonzepte – Folgen für betriebliche Sozialität? In: Bremert L, Hoppe M, Krings B-J, Schmidt W (Hg.): Der Betrieb als sozialer Ort im Umbruch Kollegialität und Solidarität trotz Homeoffice, New Work und Agilität? Hamburg: VSA (im Erscheinen).

Dalessandro C, Lovell A (2025) The pandemic stratified workplace: Workspace, employee sense of belonging, and inequalities at work. Sage Open, https://doi.org/10.1177/21582440241228909.

Evers K E, Gilmore M (2024) Innovations needed to address thwarted belonging among employees with marginalized identities. American Journal of Health Promotion 38(6): 892-894.

Greiner B (1998) Der Gesundheitsbegriff. In Bamberg E, Ducki A & Metz A-M (Hrsg): Handbuch Betriebliche Gesundheitsförderung. Göttingen: Verlag für Angewandte Psychologie, 39-55.

Haggerty B M K, Lynch-Sauer J, Patusky K L, Bouwsema M & Collier P (1992) Sense of belonging: a vital mental health concept. Archives of Psychiatric Nursing 6(3): 172-177.

Hobfoll S, Halbesleben J, Neveu J-P, Westman M (2018) Conservation of Resources in the Organizational Context: The reality of resources and their consequences. Annua Review of Organizational Behavior 5: 103-128.

Hyrynsalmi S M, Broomandi F, Salman I, Paasivaara M (2025) Fostering a sense of belonging in hybrid work within agile software development. In Peter S, Kropp M, Aguiar A, Anslow C, Lunesu M I, Pinna A (Eds) Agile processes in software engineering and extreme programming. Cham: Springer, 37-51

Imboden M (2024) Belonging: An essential human and organizational need. American Journal of Health Promotion 38(6): 883-885.

Petitta L, Ghezzi V (2025) Remote work and psychological distance: Organizational belongingness as a resource against work stressors and employee performance impairment and distress. Sustainability 17, 1342. https://doi.org/10.3390/su17041342.

Pfaff-Czarnecka (2018) Zugehörigkeit neu denken. Herausforderungen der Arbeitswelt von heute und morgen. In: Geramanis O, Hutmacher S (Hrsg) Identität in der modernen Arbeitswelt. Wiesbaden: Springer Gabler, 3-19.

Urilla L, Siiriäinnen A, Mäkelä L, Kangas H (2025) Sense of belonging in hybrid work settings. Journal of Vocational Behavior https://doi.org/10.1016/j.jvb.2025.104096.

Zwischen Nähe und Distanz: Gestaltung alltäglicher Kooperation in hybriden Teams

Timo LEONTARIS, Frank KLEEMANN

Institut für Soziologie, Universität Duisburg-Essen
Forsthausweg 2, D-47057 Duisburg

Kurzfassung: Wie kann gelingende Zusammenarbeit in hybriden Teamstrukturen gestaltet werden? Der Beitrag argumentiert, dass diese sich im Wechselspiel zwischen der Einführung und Nutzung digitaler Kooperationstools, der Schaffung von virtuellen Räumen der Kooperation und der Herstellung teaminterner Sozialität durch vergemeinschaftende Arbeitsstrukturen vollzieht. Essenziell ist die Schaffung von strukturierenden Rahmenbedingungen durch das Management bei gleichzeitigen Freiräumen der operativen Ebene zur konkreten Ausgestaltung der Arbeitspraxis.

Schlüsselwörter: Arbeitskooperation, hybride Arbeit, Arbeitsgestaltung, Sozialität, virtuelle Arbeitsräume

1. Einleitung

Allen medial breit verhandelten ‚Return-to-Office'-Debatten zum Trotz sind hybride Arbeitsformen zur Normalität der postpandemischen Büroarbeitswelt geworden (Carstensen 2025; Kunze/Hampel 2025). Die Etablierung hybrider Modelle, die Arbeit im Büro mit Homeoffice oder Tätigkeit an Dritten Orten kombinieren, verändert die alltägliche Teamarbeit grundlegend. Arbeitsroutinen, die sich in Präsenzkontexten bewährt haben, lassen sich nicht ohne Weiteres übertragen, sondern müssen an die neuen Formen der Zusammenarbeit angepasst werden.

So wandelt sich insbesondere durch die IKT-vermittelte Distanzarbeit die Interaktion im Team, da Kommunikations- und Koordinationsprozesse nun auch jenseits von Face-to-Face-Situationen stattfinden (Handke/Wesche 2024). Zudem verschränken sich virtuelle und physische Räume, sobald Teammitglieder von unterschiedlichen Orten aus agieren (Will-Zocholl 2023). Vor diesem Hintergrund gilt es, die Rahmenbedingungen der Kooperation neu zu gestalten, um eine funktionale Zusammenarbeit im Spannungsfeld von Nähe und Distanz zu gewährleisten.

2. Arbeitsbezogene Kooperation in Teams

Arbeitsbezogene Kooperation ist eine Form der Interaktion, bei der Subjekte im Rahmen ihrer organisationalen Tätigkeit zur gemeinsamen Aufgabenbewältigung handeln (Spieß 1996). Durch diesen Fokus auf Wechselseitigkeit grenzt sich Kooperation von linearen Arbeitsprozessen – wie bloßem Agieren oder Reagieren – ab (Böhle/Bolte 2002).

Für eine gelingende Kooperation ist Kommunikation unerlässlich. Kommunikation ist immer zeichenbasiert und meist sprachlich vermittelt (Krömmelbein 2004: 23). Sie kann schriftlich oder mündlich, in Kopräsenz oder medienbasiert vollzogen werden. In

jedem Fall ist Kommunikation zugleich Voraussetzung und Ergebnis von Kooperationsbeziehungen (Bolte et al. 2008: 22).

Ergänzend erfordert Zusammenarbeit Koordination, d.h. die Planung und Verknüpfung arbeitsteiliger Prozesse sowie die gezielte Aufgabenverteilung. Dies geschieht operativ durch Informationsaustausch und Statuskontrollen. Koordination erfolgt nicht zwingend hierarchisch (top-down) durch Weisungen von Vorgesetzten, sondern beruht auch auf wechselseitiger Abstimmung – in der Praxis häufig als Selbstkoordination realisiert.

In einem weitergehenden Verständnis umfasst Kooperation zudem Elemente der Konfliktregelung und sozialen Integration. Gerade diese Aspekte stellen Teams bei der Interaktion auf Distanz vor besondere Herausforderungen (Hardwig 2024).

Während das Büro üblicherweise den zentralen Ort gemeinsamer Arbeit in Kopräsenz bildete, wird dieser physische Raum in hybriden Konstellationen (mindestens anteilig) durch Zusammenarbeit in virtuellen Räumen substituiert oder ergänzt. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie Teamkooperation im Spannungsfeld von Nähe und Distanz gestaltet werden kann und wo entsprechende Maßnahmen ansetzen sollten.

3. Methode

Die empirische Basis des Beitrags bilden drei kontrastierende, explorative Fallstudien hybrid arbeitender Teams. Diese wurden zwischen Sommer 2024 und Herbst 2025 im Rahmen des von der Hans-Böckler-Stiftung geförderten Projekts *Kooperationspraxis in virtualisierten Arbeitszusammenhängen* durchgeführt. Die Untersuchungseinheiten umfassten Teams aus den Bereichen Kundenberatung und Personalwesen sowie ein Betriebsratsteam.

Die Datenerhebung basierte auf Interviews mit Teammitgliedern, Führungskräften und der betrieblichen Interessenvertretung sowie auf der teilnehmenden Beobachtung physischer und virtueller Arbeitsprozesse. Die Auswertung der Daten erfolgte in Anlehnung an die Dokumentarische Methode (Nohl 2017).

4. Befunde

Die Untersuchung der Zusammenarbeit in den drei Teams zeigt, dass es bei hybrider Arbeit drei interdependente Ebenen gibt, an denen eine Gestaltung für eine gelingende Zusammenarbeit ansetzen kann (und sollte).

4.1 Implementation und Nutzung technischer Tools

Hybride Arbeitskonstellationen werden erst durch den Einsatz medial vermittelter Kommunikation und Kollaboration möglich. Die Einführung neuer technischer Systeme birgt jedoch Risiken, da diese keine neutralen Werkzeuge sind, sondern tief in die Arbeitspraxis und soziale Prozesse eingreifen. Erfolgt die Implementierung rein ‚top-down' – also ohne Einbezug der Basis –, drohen empfindliche Störungen etablierter Abläufe und informeller Regeln. Passen die Softwareanwendungen nicht zu den realen Anforderungen, wird Kooperation behindert statt gefördert.

Eine erfolgreiche Implementierung erfordert daher die Einbeziehung der Nutzerperspektive. Idealerweise geschieht dies durch direkte Partizipation bei der

Tool-Auswahl oder zumindest durch strukturiertes Feedback, um die Technik an die Arbeitspraxis anzupassen. Unsere Befunde zeigen, dass hierfür insbesondere modulare, begrenzt gestaltungsoffene Systeme geeignet sind. Sie erlauben nachträgliche Anpassungen, sobald unintendierte Folgen in der Praxis sichtbar werden.

Ein Beispiel aus unseren Erhebungen verdeutlicht dies: Im Personalwesen wurde ein neues Kollaborationstool eingeführt, bei dem zunächst eine zentrale Funktion (Videokonferenzen mit Externen) fehlte – ein Defizit, das auf Managementebene übersehen worden war. Dank der modularen Struktur des Systems konnte diese Funktion nach Feedbackschleifen integriert werden, sodass das Tool nun den Anforderungen der Nutzenden entspricht.

Neben der technischen Passung steigen mit neuer Soft- und Hardware auch die Kompetenzanforderungen an die Beschäftigten. Die technische Implementierung muss daher zwingend durch qualifizierte Schulungen flankiert werden. Überlässt man die Aneignung den Beschäftigten selbst, drohen dysfunktionale Kompetenzasymmetrien: Wenn Einzelnen zentrales Anwendungswissen fehlt, müssen andere Teammitglieder Zeit und Energie aufwenden, um diese Defizite auszugleichen, was das Kooperationsgefüge nachhaltig stören kann.

4.2 Räume der Kooperation

Kooperation findet in Räumen statt. In raumsoziologischer Perspektive (vgl. Schroer 2003) sind Räume mehr als physische Orte: Sie sind ein soziales Produkt, das erst durch menschliche Handlungen und Bedeutungszuschreibungen entsteht. Dies gilt auch für auf informationstechnischer Basis generierte *virtuelle Räume*, in denen ein wesentlicher Teil hybrider Arbeit stattfindet.

In diesem Sinn führt die Vielfalt technischer Interaktionsmöglichkeiten und -erfordernisse im Alltag hybrid arbeitender Teams zu einer Ausdifferenzierung von Arbeitsräumen. Denn verschiedene Kooperations- und Kollaborationstools (und deren Verknüpfung) schaffen jeweils unterschiedliche (sozial produzierte) Räume der Zusammenarbeit mit je eigenen Nutzungsregeln.

Für eine funktionale Kooperation ist es daher entscheidend, im Team ein gemeinsames Verständnis über den Zweck der verschiedenen verfügbaren Räume zu entwickeln. Dafür sind in organisationaler Hinsicht informelle Gestaltungsspielräume für das Team erforderlich. Sie ermöglichen Aushandlungsprozesse innerhalb des Teams. Diese können zwar durch die Führungskraft vorstrukturiert sein, sollten jedoch ergebnisoffen bleiben und ausdrücklich auch die Einbringung entgegengesetzter Perspektiven ermöglichen. In den untersuchten Fällen war beispielsweise zu klären, ob das Büro der primäre Ort für Besprechungen sein soll und ob Konsens darüber besteht, dass sich das Homeoffice besser für konzentrierte Einzelarbeit eignet. Hierzu gehört häufig eine grundlegende Reflexion der wahrgenommenen Vor- und Nachteile physischer und virtueller Settings: Was funktioniert im virtuellen Raum, wofür eignet sich eher der Austausch in Präsenz?

Ziel ist die Bildung einer *konsentierten Balance* im Team. Dies bedeutet nicht zwingend, dass alle Teammitglieder die Arbeitsräume gleich bewerten, sondern dass ein tragfähiger Konsens für die Zusammenarbeit auch zwischen unterschiedlichen Positionen hergestellt wird.

Für die produktive Gestaltung der Kooperation erweist es sich als zentral, dass allen Beteiligten klar ist, welche (gemeinsamen) Nutzungs- und Verhaltensweisen im jeweiligen Arbeitsraum erwartet werden. Eine gestalterische Perspektive muss daher

nicht nur auf ein gemeinsames Raum*verständnis* abzielen, sondern auch soziale Regeln etablieren, die die Zusammenarbeit in diesen Räumen strukturieren.

Unsere Fallstudien zeigen: Gelingt diese Balance nicht, wird die Zusammenarbeit behindert. Es kommt zu wiederkehrenden Konflikten aufgrund divergierender Perspektiven auf die Raumfunktionalität – etwa, wenn virtuellen oder kopräsenten Meetings kategorisch die Eignung für die Bearbeitung konkreter Inhalte abgesprochen wird.

4.3 Vergemeinschaftung und Sozialität

Eine zentrale Herausforderung in hybriden Arbeitskonstellationen ist die weitreichende Veränderung von Sozialität. Während in Präsenzkulturen ein gemeinsames Teamgefühl häufig beiläufig, spontan und ungeplant hergestellt oder aufrechterhalten wird – etwa bei zufälligen Begegnungen auf dem Flur oder im kurzen Gespräch über den Schreibtisch hinweg –, bieten hybride Arbeitszusammenhänge weniger Gelegenheiten zum spontanen Austausch. Je nach Präsenzanteil entfallen sie mitunter gänzlich.

Die Herstellung teaminterner Sozialität wird unter diesen Bedingungen voraussetzungsreicher. Sie entsteht nicht mehr beiläufig, sondern muss aktiv organisiert und gestaltet werden. Damit wird Sozialität zur expliziten Aufgabe für Führungskräfte und Teams, wodurch eine neue Ebene der Koordination in den Arbeitsalltag Einzug hält.

Waren es während der Pandemie noch erste zaghafte Versuche mit virtuellen Kaffeepausen, werden inzwischen zunehmend Formate wie virtuelle Team-Events oder Check-in-Routinen zur Kompensation genutzt. Je nach Ausgestaltung leiden diese jedoch oft unter geringer Verbindlichkeit. Insbesondere zusätzliche virtuelle Termine bergen zudem die Gefahr, zur (sozialen) Ermüdung beizutragen.

Führungskräfte stehen daher vor der Aufgabe, Formate zu entwickeln, die vergemeinschaftend wirken und die Sozialität stärken – insbesondere solche, die in den Arbeitsalltag eingebettet sind. Die Fallstudien zeigen, dass dies eine enge Abstimmung mit den Teilnehmenden erfordert. So wurden im Fall der Kundenberatung zwar regelmäßig Präsenzanlässe geschaffen, diese fanden jedoch häufig abends bzw. jenseits der Arbeitszeit statt. In der Konsequenz berichteten mehrere Teammitglieder, dass eine Teilnahme für sie unattraktiv sei, da sie ihre Freizeit nicht dafür opfern wollten. Das Ziel, ein Teamgefühl zu erzeugen, wurde somit verfehlt, da die Formate nur einen Teil des Teams erreichten.

Anders im Fall der Personalabteilung: Hier wurden vergemeinschaftende Anlässe (digital und in Präsenz) von der Teamleitung vorstrukturiert, aber anschließend auf ihre Passung mit dem Team geprüft. In einem Modus von ‚Trial and Error' wurden so Treffen und Meetings in den Arbeitsalltag integriert, die inzwischen von allen Beteiligten als wertvoll für den Teamzusammenhalt erachtet werden.

5. Diskussion und Fazit

Die drei Gestaltungsebenen sind nicht isoliert, sondern in ihrer wechselseitigen Bezogenheit zu betrachten. So dient die Einführung informationstechnischer Tools dem Aufspannen neuer Kooperationsräume, die hybride Zusammenarbeit ermöglichen. In diese neuen, virtuellen Kooperationsräume sind zum einen (wie in jede Technik) bereits soziale Nutzungsregeln eingeschrieben. Zum anderen strukturieren

die Kooperationserfordernisse des organisierten Arbeits-zusammenhangs die Raumnutzung. Daher stellt sich die Frage, ob und wie sich Kooperationsformen in mediatisierten Settings sinnvoll umsetzen lassen. Denn nur weil eine virtuelle Zusammenarbeit technisch möglich ist, ist sie noch lange nicht produktiv für den Arbeitsprozess. Werden virtuelle Räume vom Team als dysfunktional oder hinderlich für die eigene Arbeitspraxis empfunden, kann dies zu einer (teils subversiven) Verweigerungshaltung führen.

Da die Funktionalität der Techniknutzung sich erst auf der Ebene der Arbeitspraxis konkretisiert, ist im Hinblick auf die Gestaltung der technisch vermittelten Zusammenarbeit zudem die Frage entscheidend, welche Spielräume die Teams zur Gestaltung der durch Informationstechnik ermöglichten virtuellen Räume haben. Deutlich wird insgesamt, dass eine integrierte Gestaltung von Technik und Raum immer nur begrenzt möglich ist, da Technikeinführung im Sinne einer Ermöglichung und Begrenzung von Kooperationsräumen immer auch strukturierend wirkt. Gleichwohl benötigt es ebendiese begrenzten Spielräume, um eine funktionale Aneignung in der Arbeitspraxis zu ermöglichen.

In jedem Fall hängt mit der Frage, welche virtuellen Räume sich im Wechselspiel zwischen Technik und Raum ergeben, auch die Frage eng zusammen, welche Formen von Sozialität und Vergemeinschaftung damit verbunden sind. Dabei ergibt sich eine basale Ebene der Vergemeinschaftung in virtuellen Räumen dadurch, dass man sich im Zuge der Einführung neuer Informationstechnik (wie übrigens auch neuer Leitlinien der betrieblichen Arbeitsorganisation) zunächst über gemeinsame Bedeutungszuschreibungen verständigen und gemeinsame Nutzungsregeln der Technik aushandeln muss. Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie sich teaminterne Sozialität in mediatisierten Settings herstellen und/oder aufrechterhalten lässt. Standardlösungen scheinen dabei wenig geeignet, vielmehr bedarf es an der Arbeitspraxis und den Bedürfnissen von Team orientierte Formate.

Vor diesem Hintergrund gilt es auch, gängige Mythen zu hinterfragen. Die Annahme, dass das zentrale Büro automatisch der Ort für „Quality Time“ ist, während virtuelle Arbeit sozial defizitär ist, greift zu kurz. Statt diesem Defizitmodell zu folgen, sollte ausgelotet werden, welche neuen, eigenständigen Formen von Sozialität sich in gut gestalteten virtuellen Räumen entwickeln können.

Quer zur Betrachtung ihrer Interdependenzen wird in der Gesamtschau ersichtlich, dass jede der drei Dimensionen in organisationaler Hinsicht von zwei Gestaltungsebenen durchzogen ist: Auf der organisationalen Ebene gestalten Führungskräfte und Management die Rahmenbedingungen von Kooperation, die auf der Ebene der Arbeitspraxis durch die Arbeitenden entsprechend der Erfordernisse des Arbeitsprozesses konkretisiert und in teils eigensinniger Weise umgesetzt werden. Arbeitskooperation ergibt sich erst im Wechselspiel zwischen Management- und Praxisebene und auf der Grundlage von (expliziten wie impliziten) Aushandlungen zwischen Team und Führungskräften.

Die Einbindung der Beschäftigten bei der Gestaltung hybrider Arbeit erweist sich als funktionale Notwendigkeit auf dem Weg zu einer gelingenden Kooperation auf Distanz. Dies gilt umso mehr, als sich die praktischen Herausforderungen und Störungen in hybriden Arbeitskonstellationen – sowohl auf Ebene Einzelner als auch auf Ebene von Teams – aufgrund fehlendem Erfahrungswissen (noch) nicht gleichermaßen wie in Präsenzsettings antizipieren lassen. An dieser Stelle kann erfahrungsgeleitetes Feedback aus der Arbeitspraxis als Ressource für die Gestaltung hybrider Arbeit genutzt werden.

6. Literatur

Böhle, F. & Bolte, A. (2002): Die Entdeckung des Informellen. Der schwierige Umgang mit Kooperation im Arbeitsalltag. Frankfurt/Main: Campus-Verl.

Bolte, A., Neumer, J. & Porschen-Hueck, S. (2008): Die alltägliche Last der Kooperation. Abstimmung als Arbeit und das Ende der Meeting-Euphorie. Berlin: edition sigma.

Carstensen, T. (2025): Homeoffice: Von seltener Telearbeit zum postpandemischen Hybridarbeitsalltag. In: Friese, H., Nolden, M. & Schneider, M. (Hrsg): Handbuch Soziale Praktiken und Digitale Alltagswelten. Wiesbaden: Springer VS.

Handke, L. & Wesche, J. S. (2024): Virtuelle Teamarbeit: Was sie kennzeichnet, wie sie wirkt und wie man sie gestaltet. Psychologische Rundschau 75:277–288.

Hardwig, T. (2024): Hybrid Work – Wie lässt sich eine Schwächung der Teamarbeit vermeiden? Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 78:407–420.

Krömmelbein, S. (2004): Arbeitskommunikation und Identität – Ein Beitrag zur Subjektivierung von Arbeit. WSI-Mitteilungen 57:28–33.

Kunze, F. & Hampel, K. (2025): Zwischen Präsenzpflicht und Homeoffice-Euphorie. Stand des mobilen Arbeitens fünf Jahre nach Beginn der Corona-Pandemie. Ergebnisbericht April 2025 onstanzer Homeoffice Studie Ergebnisreport April 2025: Universität Konstanz.

Schroer, M. (2003): Raumgrenzen in Bewegung. Zur Interpenetration realer und virtueller Räume. In: Funken, C. & Löw M. (Hrsg.): Raum - Zeit - Medialität. Interdisziplinäre Studien zu neuen Kommunikationstechnologien, S. 217-236. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Spieß, E. (1996): Kooperatives Handeln in Organisationen: Theorieströnge und empirische Studien. München, Mering: Hampp.

Will-Zocholl, M. (2023): Topologien von Büroarbeit. Arbeit 32:195–216.

Hybrid, flexibel, kommunal: Eine Fallstudie ortsflexiblen Arbeitens

Patricia TEGTMEIER, Sascha WISCHNIEWSKI

Fachgruppe „Human Factors, Ergonomie“
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund

Kurzfassung: Hybrides Arbeiten gehört zum Arbeitsalltag vieler Beschäftigter. Diese Studie untersucht anhand einer Fallstudie innerhalb eines städtischen Unternehmens, inwieweit die subjektive Passung von Tätigkeiten, Räumen und Technologien sowie die Zufriedenheit mit verschiedenen Umgebungsfaktoren mit dem Umfang des Arbeitens von zu Hause assoziiert sind. Analysiert werden Daten der zweiten Online-Befragung der Verwaltungsbeschäftigten (Q4 2025) mittels multinomialer Regression.
Eine überwiegende Büronutzung geht hier u. a mit mehr Teamarbeit, einer subjektiv schlechteren Passung der Technologien für die Teamarbeit und einer geringeren Zufriedenheit mit den akustischen Bedingungen im Büro einher. Die Bürogestaltung ist eine wichtige organisatorische Ressource und integraler Bestandteil für hybride Arbeitsmodelle betrachtet werden.

Schlüsselwörter: Homeoffice, Arbeitsumgebung, IT-Infrastruktur, Task-Technology-Environment-Fit, Arbeitsort-Wahlverhalten

1. Ausgangslage

Hybrides, ortsflexibles und multilokales Arbeiten gehört insbesondere in der Büro- und Wissensarbeit zum Arbeitsalltag vieler Beschäftigter. In der Betrachtung hybriden Arbeitens steht die zeitliche Verteilung und der Wechsel zwischen verschiedenen Arbeitsorten im Vordergrund. Kombiniert werden in hybriden Arbeitsmodellen meist Präsenzarbeit im Unternehmen, mit mobilem Arbeiten, typischerweise im Privatbereich der Beschäftigten (Handke et al., 2025; Tegtmeier & Entgelmeier, 2025). Die Daten der BAuA-Arbeitszeitbefragung zeigen, dass 2023 der Umfang des Arbeitens von zu Hause im Schnitt bei ein bis zwei Tagen in der Woche lag (Backhaus & Entgelmeier, 2024). Die Möglichkeit, den Arbeitsortes selbst zu bestimmen, prägt damit die Arbeitsbedingungen der Beschäftigten. Gleichzeitig gibt es Hinweise, dass ein Teil an Beschäftigten auch bei Vorhandensein hybrider Arbeitsmodelle davon wenig bis gar keinen Gebrauch macht (Entgelmeier & Tegtmeier, 2025; Handke et al., 2025).

Neben der Ausstattung und Gestaltung des heimischen Arbeitsplatzes wirkt sich auch die Gestaltung der Arbeitsplätze im Büro auf den Umfang des Arbeitens von zu Hause aus. Derzeit zeigt sich ein steigender Trend in der Betrachtung, welche Merkmale des Büros darüber entscheiden, wo Menschen ihre kommunikativen und/oder konzentrationsintensiven Tätigkeiten ausführen (Appel-Meulenbroek et al., 2022; Mateescu et al., 2025). Wichtige Faktoren sind hier u. a. physische Umgebungsfaktoren wie Klima, Licht und Akustik (Haapakangas et al., 2024; Handke et al., 2025). Offene Arbeitsbereiche können die Kommunikation verbessern, erhöhen jedoch auch die Gefahr störender Geräusche, was sich negativ auf die Zufriedenheit mit dem Büro auswirkt (Appel-Meulenbroek et al., 2022; Brunia et al., 2016). In hybriden Arbeitsmodellen ziehen Beschäftigte es daher ggf. vor, das Büro zu meiden (Haapakangas et

al., 2024). Für kommunikative Tätigkeiten wird insgesamt eher Präsenz bevorzugt (Mateescu et al., 2025; Rosgaard et al., 2025). Geeignete Räume für konzentrierte sowie kommunikative Tätigkeiten sind positiv mit Arbeitszufriedenheit und Vitalität verknüpft (Wohlers et al., 2019). Eine schlechte Passung zwischen Person und Umgebung wirkt als Push-Faktor an den heimischen Arbeitsplatz (Haapakangas et al., 2024). Umgebungsfaktoren werden meist für tätigkeitsbasierte Bürokonzepte betrachtet. Konventionelle Konzepte mit kleinen geteilten sowie Einzelbüros sind hinsichtlich der Ortswahl in hybriden Arbeitsmodellen wenig repräsentiert.

Die Häufigkeit spontaner Kommunikation ist ein starker Prädiktor für die Büronutzung. Gleichzeitig nutzen Beschäftigte Informations- und Kommunikationstechnologien zur Überbrückung einer räumlichen Trennung. Auch Beschäftigte im Büro nutzen kollaborative Technologien für die Zusammenarbeit mit räumlich entfernten Teammitgliedern. Die technische und räumliche Infrastruktur ist damit ein wichtiger Erfolgsfaktor hybriden Arbeitens (Tegtmeier & Entgelmeier, 2025). Trotz ihrer Bedeutung in hybriden Arbeitsmodellen findet die Passung von Tätigkeiten und Technologien hinsichtlich des Umfangs hybriden Arbeitens wenig Beachtung (Mateescu et al., 2025).

Ziel des vorliegenden Beitrags im Rahmen einer Fallstudie mit noch konventioneller Büroaufteilung ist eine integrierte Betrachtung der Passung von Tätigkeiten, digitalen Technologien und Arbeitsumgebungen sowie und der Zufriedenheit mit unterschiedlichen organisationalen und physikalischen Umgebungsfaktoren für das Wahlverhalten in hybriden Arbeitsmodellen.

2. Methode

Die vorliegenden Daten sind Teil einer Fallstudie eines städtischen Unternehmens. Betrachtet wird die zweite Befragungswelle einer längsschnittlich angelegten Beschäftigtenbefragung als computergestützte Onlinebefragung (EU-Survey). Die Beschäftigten der Verwaltung arbeiteten zu diesem Zeitpunkt in einem traditionellen Bürokonzept. Dieses basierte auf geschlossenen Räumen/Bereichen und separaten Fluren. Es gab Räume für ein bis vier Personen und Zugang zu Teeküchen oder Pausenräumen, Support-Einrichtungen und einigen Besprechungsräumen.

Zum Start der zweiten Befragungswelle wurden die Beschäftigte der Verwaltung über einen Beitrag im unternehmenseigenen Intranet informiert. Die Befragung erfolgte vom 17. November bis 15. Dezember 2025. Die Teilnahme erfolgte freiwillig über die Nutzung eines allgemeinen Links zum Fragebogen. Zu Beginn des Fragebogens wurde die Einwilligung der Befragten zur Datenverarbeitung sowie zum Datenschutz eingeholt. Ein positives Votum der Ethikkommission der BAuA (086-2024) sowie die Zustimmung des Unternehmens für die Befragung lag vor.

2.1 Messungen

Der Fragebogen umfasste mehrere Themenbereiche, die sich auf das physische und psychosoziale Arbeitsumfeld, mobiles Arbeiten, Wohlbefinden und Arbeitszufriedenheit bezogen. Die nachfolgende Analyse basiert auf den folgenden Themen:

Abhängige Variable: Der Umfang des Arbeitens von zu Hause wurde anhand der Frage gemessen: *„Wie viele Tage pro Monat arbeiten Sie von zu Hause aus?“* Aufgrund der Antwortverteilung mit drei deutlichen Spitzen in den angegebenen Tagen pro Monat wurden drei ordinale Gruppen gebildet: Personen, die 1) 0 bis 3 Tage, 2) zwischen 4 und 7 Tagen und 3) 8 Tagen und mehr im Monat von zu Hause arbeiteten.

Unabhängige Variablen: Items zu Einzelarbeit (z. B. *„Meine Arbeitsaufgaben erfordern es, dass ich mich konzentrieren kann“*) und Teamarbeit (*z. B. „…, dass ich mich schnell mit Kolleginnen und Kollegen abstimmen kann.“*) sowie der Passung der gestellten Räume zu diesen Tätigkeiten (*z. B. „Mein Unternehmen bietet Räumlichkeiten, in denen ich mich konzentrieren kann“*) basierten ebenso wie die Antwortskala (7= "stimme voll und ganz zu" bis 1= "stimme überhaupt nicht zu") auf Wohlers et al. (2019). Ergänzt wurden diese um äquivalent formulierte Items zur Technologiepassung (z. B. *„Meine digitalen Arbeitsmittel unterstützen, dass ich mich schnell mit Kolleginnen und Kollegen abstimmen kann“*).

Items zur Zufriedenheit mit der Arbeitsumgebung im Unternehmen bestehend aus den Faktoren Licht, Klima und Arbeitsbereich *(z. B. „Wenn Sie an Ihre Arbeitsumgebung denken, wie zufrieden sind Sie mit der Menge an Licht für die Arbeit am Computer?“*) basieren auf Veitch et al. (2007). Auf Grund der Bedeutung störender Geräusche für die Wahl des Arbeitsortes (Haapakangas et al., 2024; Handke et al., 2025) wurde für die vorliegenden Analysen der Faktor Arbeitsbereich in die zwei Aspekte Akustik und Arbeitsplatz geteilt. Hinzu kamen vier Items (z. B. *„… mit den IT-unterstützenden Dienstleistungen (Helpdesk)?“*) aus Brunia et al. (2016). Innerhalb des Fragenblocks wurden die Items aus beiden Quellen kombiniert in zufälliger Reihenfolge beantwortet (7= „sehr zufrieden“ bis 1 = „sehr unzufrieden“).

Als Personenvariablen wurden neben Alter, Geschlecht und Jahren der Betriebszugehörigkeit die drei Merkmale Wochenarbeitszeit, Führung und Einzelbüro erfasst.

2.2 Statistische Analyse

Muster zum Umfang hybriden Arbeitens wurden anhand multinomialer logistischer Regressionen (Referenzgruppe 0 bis 3 Tage pro Monat) in SPSS (31) analysiert. Im ersten Modell wurden die Variablen zur Tätigkeit sowie zur Raum- und Technikpassung einbezogen. Im zweiten Modell wurden die zuvor relevanten Prädiktoren um die Zufriedenheiten mit der Arbeitsumgebung erweitert. Modell drei ergänzt um die Personenmerkmale. Um das Risiko einer Unteranpassung im finalen Modell zu verringern, wurden in den Modellen 1 bis 3 alle Prädiktoren mit einem α-Fehler bis 10 Prozent aus dem Vorgängermodell berücksichtigt. Das Niveau für den α-Fehler im finalen Modell wurde auf 5 Prozent festgelegt. Es wurden keine Ausreißer oder Multikolinearitäten festgestellt. Auch waren keine Verletzungen der Linearitätsannahme ersichtlich.

3. Ergebnisse

An der zweiten Befragungswelle beteiligten sich 109 Beschäftigte (Antwortrate 27,3 %) im Alter von 22 bis 64 Jahren (M = 45,8, SD = 11,3). Die Betriebszugehörigkeit lag zwischen 1 und 47 Jahren (M = 17,6, SD = 14,2). Es nahmen etwas mehr Frauen als Männer teil (63 w, 46 m, 0 d). Die Mehrheit der Teilnehmenden berichtete eine vertraglich festgelegte Arbeitszeit von 39 Stunden pro Woche (M = 37,2, SD = 4,4) verteilt auf 5 Tage (M = 4,9, SD = 0,4). Knapp ein Fünftel arbeitete in Teilzeit mit weniger als 35 Stunden pro Woche. Führungsaufgaben berichteten 11 Teilnehmende. Gut die Hälfte der Befragten verfügte über ein Einzelbüro im Unternehmen (57 ja). Das Arbeiten von zu Hause nutzen 27 Personen gar nicht bis zu drei Tagen im Monat, 41 an vier bis sieben Tagen und 39 an acht Tagen und mehr (n = 2 keine Angabe).

Iterativ wurden vier ordinale logistische Regressionsanalysen durchgeführt, um den Zusammenhang zwischen hybrider Arbeit und der Aufgaben-Technologie-Umgebungspassung, der Zufriedenheit mit der Arbeitsumgebung und Personenmerkmalen zu untersuchen. Das finale Modell (Tab. 1 und Abb. 1) ist statistisch signifikant ($\chi^2(12) = 65{,}09$, $p < 0{,}001$) mit guter Varianzaufklärung (Nagelkerke R^2 0,51).

Tabelle 1: *Zusammenhänge zwischen den Prädiktoren und dem Umfang des Arbeitens von zu Hause, Referenzkategorie 0-3 Tage Arbeiten von zu Hause im Monat (N 107 von 109).*

	4-7 Tage pro Monat				**8 und mehr Tage pro Monat**			
Variablen	Beta	p	OR	CI	Beta	P	OR	CI
Teamarbeit	-0,45	0,216	0,64	0,31-1,30	-0,87	**0,017**	**0,42**	0,20-0,86
Passung Teamtechnik	1,15	**0,002**	**3,17**	1,55-6,51	1,50	**<,001**	**4,47**	2,11-9,50
Zuf. Hybride Arbeit	0,50	**0,011**	**1,64**	1,12-2,41	0,46	**0,022**	**1,58**	1,07-2,35
Zuf. Akustik	0,37	0,206	1,45	0,82-2,57	0,80	**0,011**	**2,22**	1,20-4,11
Zuf. Arbeitsplatz	-0,03	0,946	0,98	0,47-2,04	-0,91	**0,023**	**0,40**	0,19-0,88
Führung (ja)	-2,08	**0,027**	**0,13**	0,02-0,79	-2,06	**0,047**	**0,13**	0,02-0,97

Im finalen Modell sind Teamarbeit ($\chi^2(2) = 7{,}97$, $p = 0{,}019$) und die Passung der Technologien für die Teamarbeit ($\chi^2(2) = 22{,}80$, $p < 0{,}001$) für den Umfang des Arbeitens von zu Hause von Bedeutung. Die Wahrscheinlichkeit für Teamarbeit ist im Vergleich zur Referenzgruppe bei acht Tagen und mehr Arbeiten von zu Hause deutlich geringer. Bei höheren Zustimmungen zu Passung der Technologien für die Teamarbeit, steigt die Wahrscheinlichkeit mehr von zu Hause zu arbeiten deutlich.

Einflussreiche Prädiktoren aus den organisationalen und physikalischen Umgebungsfaktoren sind die Zufriedenheit mit den Möglichkeiten zum hybriden Arbeiten ($\chi^2(2) = 8{,}14$, $p = 0{,}017$), mit der Akustik ($\chi^2(2) = 8{,}04$, $p = 0{,}018$) sowie mit dem eigenen Arbeitslatz ($\chi^2(2) = 8{,}04$, $p = 0{,}005$). Die Zufriedenheit mit den Möglichkeiten zum hybriden Arbeiten waren positiv mit einem höheren Umfang des Arbeitens von zu Hause assoziiert. Mit einer höheren Zufriedenheit auf dem Faktor Akustik stieg im Vergleich zur Referenzgruppe die Wahrscheinlichkeit, der Gruppe mit acht Tagen und mehr Arbeiten von zu Hause anzugehören. Gleichzeitig war die Zufriedenheit mit dem eigenen Arbeitsplatz in dieser Gruppe signifikant negativ verknüpft.

Von den Personenmerkmalen wurde im finalen Modell nur das bestehen von Führungsaufgaben signifikant ($\chi^2(2) = 6{,}07$, $p = 0{,}048$). Führungsaufgaben sind ein klarer Prädiktor der Referenzgruppe mit 0 bis 3 Tagen Arbeiten von zu Hause anzugehören.

4. Diskussion

Die Auswertungen im Rahmen der Fallstudie in einer städtischen Verwaltung unterstreichen die anhaltend hohe Verbreitung des Arbeitens von zu Hause (75 % vier und mehr Tage im Monat). Ein Viertel der Beschäftigten kann als ausgeprägt büronutzend bezeichnet werden.

Insgesamt zeigt sich eine sehr hohe Zustimmung zur Notwendigkeit von Einzelarbeit unabhängig vom Umfang des Arbeitens von zu Hause. Neben den ausgeprägt Büronutzenden arbeitet Zweifünftel meist an vier von fünf Tagen im Büro. Dies unterstreicht die Bedeutung geeigneter Räume für konzentrierte Einzelarbeit. In der Fallstudie gibt es vorwiegend geschlossene Arbeitsbereiche für ein oder zwei Personen. Diese bieten Privatsphäre für Einzelarbeit oder virtuelle Besprechungen und Ad-hoc-Gespräche unabhängig vom Umfang des Arbeitens von zu Hause. Wie bereits in anderen Studien (Mateescu et al., 2025; Rosgaard et al., 2025) arbeiten Personen in der

vorliegenden Stichprobe mit mehr Teamarbeit eher in Präsenz. Gleichzeitig gilt: Ist die subjektive Passung von Teamarbeit und digitalen Technologien gut, ist dies der deutlichste Indikator für einen höheren Umfang des Arbeitens von zu Hause. Personen mit einer subjektiv guten Passung substituieren ggf. einen Teil der Zusammenarbeit in Präsenz durch virtuelle Varianten. Die Raumpassung an sich unterscheidet sich nicht zwischen den Gruppen hybriden Arbeitens. Aber wie von Mateescu et al. (2025) angemerkt, könnte eine zu geringe Anzahl an Räumen virtuelle Zusammenarbeit fördern.

Die Zufriedenheit mit den Umgebungsfaktoren Akustik und Arbeitsplatz im Unternehmen ist nach der Nutzung des Arbeitens von zu Hause unterschiedlich. So sind Teilnehmende mit einem Umfang von acht Tagen und mehr Arbeiten von zu Hause mehr als doppelt so zufrieden mit der Akustik als diejenigen, die nie bis selten die Möglichkeiten zum hybriden Arbeiten nutzen. Die Akustik macht die überwiegend Büronutzenden im vorliegenden Fallbeispiel zwar weniger zufrieden, führt aber offensichtlich nicht zu einem anderen Wahlverhalten. Wie bei Handke et al. (2025) geht hybrides Arbeiten mit einer Reduktion in Anforderungen durch ungünstige Akustik und Störungen einher, sagt selbige aber nicht vorher. Eine geringere Zufriedenheit mit dem Arbeitsplatz im Unternehmen ist hingegen ein relevanter Prädiktor um eher viel von zu Hause zu arbeiten. Höhere Erwartungen an den Arbeitsplatz (Rosgaard et al., 2025) könnten in dieser Gruppe eine Rolle spielen. Möglicherweise ist in dieser Gruppe der Arbeitsplatz zu Hause besser eingerichtet und/oder bietet mehr Privatsphäre.

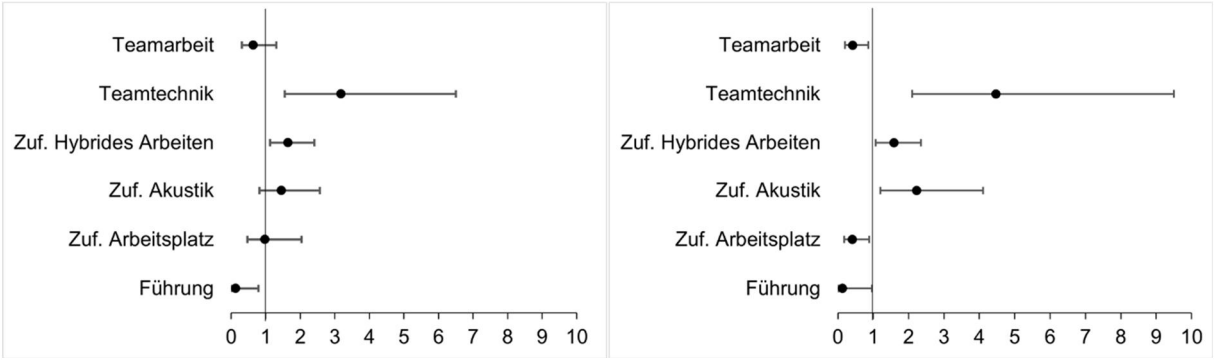


Abbildung 1: *Odd Ratios mit Konfidenzintervallen der unabhängigen Variablen und dem Umfang des Arbeitens von Zu Hause links „4-7 Tage“ rechts „8 und mehr Tage“ jeweils zur Referenzgruppe „0-3 Tage im Monat“ aus dem finalen Model.*

Die überwiegend Büronutzenden sind klar weniger zufrieden mit den Möglichkeiten hybriden Arbeitens. Eine Erklärung wäre eine subjektiv fehlende Autonomie diese Möglichkeiten zu realisieren (Handke et al., 2025). Eine andere Erklärungsmöglichkeit für die Unzufriedenheit könnten die teilweise leeren Büros und die geringere spontane Greifbarkeit von Kolleginnen und Kollegen sein (Rosgaard et al., 2025). Zudem sind in dieser Gruppe viele Führungskräfte: Führungsaufgaben sind ebenfalls ein Prädiktor weniger von zu Hause zu arbeiten. Physische Präsenz ist entscheidend für informelle Interaktionen und soziale Kontakte, wichtige Ressourcen für effektives Führen und Managen. Führungskräfte sehen es daher ggf. als ihre Aufgabe an, für ihre Mitarbeitenden verfügbar zu sein und häufiger ins Büro zu kommen (Rosgaard et al., 2025).

5. Limitationen

Die Ergebnisse basieren auf einer einzelnen Fallstudie mit Verwaltungsbeschäftigten. Eine Übertragbarkeit auf andere Branchen oder Organisationen ist damit stark

eingeschränkt. Zudem lassen sich wie bei allen Querschnittsstudien keine Rückschlüsse auf die Richtung der beobachteten Zusammenhänge ziehen. Gleichzeitig ist im Fallbeispiel bereits seit mehreren Jahren hybrides Arbeiten etabliert. Vergleiche mit Vorjahresdaten zeigen vergleichbare Gruppengrößen zum Umfang hybriden Arbeitens. Dies stärkt die verwendete Interpretationsrichtung. Mit Blick auf die Selbstauskunft der Teilnehmenden ist ein Bias in den Daten anzunehmen. Andererseits stehen subjektive Wahrnehmungen von Passungen von Räumlichkeiten und Technologien sowie Zufriedenheiten im Vordergrund der Betrachtung. Somit lassen sich darauf basierend Einblicke zur Nutzung hybriden Arbeitens gewinnen.

6. Zusammenfassung

Der Beitrag erweitert die aktuelle Betrachtung des Wahlverhaltens zum Arbeiten von zu Hause durch die Einbeziehung der Technologie-Passung und berücksichtigt damit verstärkt Aspekte virtueller Arbeitsorte. Eine hohe Technologie-Passung erweist sich als zentraler Unterstützungsfaktor für hybrides Arbeiten. Dabei zeigt sich, dass nicht alle Beschäftigten eine virtuelle Zusammenarbeit gleichermaßen präferieren. Büroräume fungieren weiterhin als wichtige organisatorische Ressourcen, da sie Kommunikations- und Interaktionsmuster beeinflussen können. Weiter zeigt sich, dass ungünstige Akustik nicht für alle ein Grund ist, ins Homeoffice auszuweichen. Daher ist auch die Bereitstellung ausreichend ruhiger Zonen für konzentrierte Einzelarbeit im Büro weiterhin wichtig. Insgesamt bleibt die Präsenzarbeit ein relevanter Faktor für eine sichere und gesunde Arbeitsgestaltung.

7. Literatur

Appel-Meulenbroek R, Kemperman A, van de Water A, Weijs-Perrée M, Verhaegh J (2022) How to attract employees back to the office? A stated choice study on hybrid working preferences. Journal of Environmental Psychology, 81, 101784.

Backhaus N, Entgelmeier I (2024) Arbeiten von zu Hause: Vereinbarungen, Arbeitsbedingungen, Wohlbefinden und Gesundheit. Sozialbericht 2024. Berlin: Bundeszentrale für politische Bildung, 159-167.

Brunia S, De Been I, van der Voordt TJM (2016) Accommodating new ways of working: lessons from best practices and worst cases. Journal of Corporate Real Estate, 18(1), 30-47.

Entgelmeier I, Tegtmeier P (2025) Zwischen Büro und Zu Hause: eine Bestandsaufnahme hybrider Arbeitsmodelle. In Hybrides, Ortsflexibles, Multilokales Arbeiten? Wissenschaft im Dialog V. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 8-12.

Haapakangas A, Hirvonen S, Airaksinen J, Tulenheimo-Eklund E, Ruohomäki V (2024) Workplace experiences as push and pull factors – How are perceived office conditions associated with teleworking preferences? Journal of Corporate Real Estate, 27(2), 93-115.

Handke L, O'Neill TA, McLarnon MJW, Kauffeld S (2025) What goes around comes around - work characteristics as both antecedents and outcomes of hybrid work adoption. European Journal of Work and Organizational Psychology, 34(1), 12-23.

Mateescu M, Schulze H, Kauffeld S (2025) Choosing where to work: an empirical study of collaborative activities' impact on workspace choice behavior. Journal of Corporate Real Estate, 27(1), 47-68.

Rosgaard A, Flamand MB, Edwards K, Ipsen C, Madsen MB (2025) Why come to the office? Investigating employee return to office in hybrid work. Facilities. https://doi.org/10.1108/f-02-2025-0024

Tegtmeier P, Entgelmeier I (2025) Drei Jahre Wissenschaft im Dialog: Perspektiven auf hybrides, ortsflexibles und multilokales Arbeiten. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 79(3), S. 341-356.

Veitch JA, Charles KE, Farley KMJ, Newsham GR (2007) A model of satisfaction with open-plan office conditions: COPE field findings. Journal of Environmental Psychology, 27(3), 177-189.

Wohlers C, Hartner-Tiefenthale, M, Hertel G (2019) The Relation Between Activity-Based Work Environments and Office Workers' Job Attitudes and Vitality. Environment and Behavior, 51(2), 167-198.

Arbeitsortwahl zwischen Büro und Homeoffice: Einflussfaktoren auf die Wahl des Arbeitsortes

Romantika SADIKU, Adriana LAURENZANO, Kai SKLORZ, Mitja JURECIC

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation
Nobelstraße 12, D-70569 Stuttgart

Kurzfassung: Die Entscheidung, ob im Büro oder im Homeoffice gearbeitet wird, ist heute flexibler denn je. Unsere Studie zeigt, dass vor allem die Qualität des Arbeitsplatzes und die Möglichkeit zur Selbstbestimmung die Wahl des Arbeitsortes prägen. Mitarbeitende bevorzugen das Büro, wenn dort eine hochwertige Ausstattung gegeben ist, ein hoher Kommunikationsanteil besteht und die eigenen Leistungsfähigkeiten positiv eingeschätzt wird. Das Homeoffice wird hingegen dann gewählt, wenn Autonomie und eine gute Ausstattung zu Hause möglich sind. Der tägliche Arbeitsweg ist eher von geringer Bedeutung im Gesamtkontext. Die Ergebnisse unterstreichen, dass die Gestaltung attraktiver Arbeitsbedingungen und echter Entscheidungsspielräume wichtiger ist als starre Vorgaben.

Schlüsselwörter: Arbeitsort, Homeoffice, Büropräferenz, Autonomie, Teamanwesenheit, Arbeitsplatzqualität

1. Einleitung

Die Arbeitswelt befindet sich in einem grundlegenden Wandel: Mit der zunehmenden Flexibilität durch Homeoffice und hybride Arbeitsmodelle stehen Unternehmen und Mitarbeitende vor neuen Herausforderungen und Chancen. Die Wahl des Arbeitsortes, ob Büro oder Homeoffice, ist heute nicht mehr nur eine organisatorische Entscheidung, sondern spiegelt individuelle Bedürfnisse, Tätigkeitsanforderungen und die Qualität der jeweiligen Arbeitsumgebung wider. Moderne Büroarbeit verlangt nach Räumen, die sowohl produktives Arbeiten als auch soziale Interaktion ermöglichen und dabei die Gesundheit und das Wohlbefinden der Beschäftigten fördern.

Dieser Artikel untersucht, welche Faktoren die Wahl des Arbeitsortes maßgeblich beeinflussen und wie Unternehmen durch gezielte Gestaltung von Arbeitsbedingungen und Bürostrukturen attraktive und funktionale Arbeitswelten schaffen können. Im Fokus stehen dabei die Bedeutung von Arbeitsplatzqualität, Autonomie, Kommunikationsbedarf und Teampräsenz sowie die Rolle des Homeoffice als Ort der Selbstbestimmung und individuellen Gestaltung. Die Gestaltung moderner Arbeitswelten bleibt ein komplexer, fortlaufender Prozess, der sich den veränderten Arbeitsweisen und Bedürfnissen von Mitarbeitenden immer wieder neu anpassen muss.

Die Ergebnisse der Studie liefern praxisnahe Erkenntnisse für die Entwicklung zukunftsfähiger Arbeitsmodelle und zeigen, wie die Balance zwischen Flexibilität und Zusammenarbeit gelingen kann.

2. Theoretischer Hintergrund

Ob Beschäftigte überwiegend im Büro oder im Homeoffice arbeiten, stellt eine zentrale arbeits- und organisationspsychologische Fragestellung dar. Spätestens seit der zunehmenden Etablierung hybrider Arbeitsmodelle wird der Arbeitsort nicht mehr als fest vorgegeben betrachtet, sondern als Ergebnis individueller, tätigkeitsbezogener und organisationaler Rahmenbedingungen. In diesem Sinne kann die Wahl des Arbeitsorts als funktionale Anpassung interpretiert werden, bei der Beschäftigte den Arbeitsort wählen, der ihren Anforderungen, Präferenzen und verfügbaren Ressourcen am besten entspricht.

2.1 Job-Demands–Resources-Modell (Demerouti, Bakker, Nachreiner & Schaufeli, 2001)

Das Job-Demands–Resources-Modell [JD-R-Modell] stellt einen etablierten theoretischen Rahmen zur Erklärung arbeitsbezogenen Verhaltens und Erlebens dar (Demerouti et al., 2001; Bakker & Demerouti, 2007). Grundannahme des Modells ist, dass sich Arbeitsbedingungen in Arbeitsanforderungen und Arbeitsressourcen einteilen lassen, die unterschiedliche Prozesse bei dem Menschen auslösen (Demerouti et al., 2001; Bakker & Demerouti, 2007). Während hohe Anforderungen mit Beanspruchung und Erschöpfung einhergehen können, fördern verfügbare Ressourcen Motivation, Arbeitsengagement und Leistungsfähigkeit.

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass Arbeitsbedingungen nicht per se als Ressourcen oder Anforderungen zu verstehen sind, sondern ihre Wirkung maßgeblich von ihrer konkreten Ausgestaltung abhängt. Abhängig von Intensität, Qualität und Kontext können identische Arbeitsbedingungen entweder ressourcenfördernd wirken oder als Belastung mit potenziellen Beanspruchungsfolgen erlebt werden. Die Wahl des Arbeitsortes lässt sich vor dem Hintergrund als Strategie zur Regulation von Anforderungen und Ressourcen interpretieren. Je nach Bedürfnis und Ausgestaltung bietet das Büro oder das Homeoffice unterschiedliche arbeitsbezogene Bedingungen mit sich, die von den Beschäftigten auch unterschiedlich bewertet werden.

2.2 Arbeitsortwahl als Anpassung an arbeitsbezogene Anforderungen und Ressourcen

In der vorliegenden Studie lassen sich mehrere untersuchte Faktoren direkt in das JD-R-Modell einordnen. Faktoren wie die wahrgenommene Autonomie, die Qualität des Büroarbeitsplatzes, die Arbeitsbedingungen im Homeoffice sowie eine unterstützende Arbeitskultur, können, als potenzielle Arbeitsressourcen verstanden werden, sofern sie Handlungsspielräume erweitern, Effizienz fördern oder psychologische Grundbedürfnisse unterstützen.

Gleichzeitig können Aspekte wie Kommunikationsintensität, die Anwesenheit anderer Personen im Büro oder der Pendelweg als potenzielle Arbeitsanforderungen wirken. Insbesondere dann, wenn sie mit erhöhtem Koordinationsaufwand, Unterbrechungen oder zeitlicher Belastung einhergehen. Diese Faktoren unterscheiden sich systematisch zwischen Büro und Homeoffice und beeinflussen damit die Attraktivität des jeweiligen Arbeitsortes.

Aus der Perspektive des JD-R-Modells ist anzunehmen, dass Beschäftigte dort arbeiten, wo das Verhältnis von Anforderungen zu Ressourcen als günstiger wahrgenommen wird. Der Arbeitsort fungiert somit als Kontext, in dem Ressourcen aufgebaut und Belastungen reduziert werden.

3. Methodik

3.1 Studiendesign und Stichprobe

Die empirische Grundlage dieser Untersuchung bildet die quantitative Online-Umfrage „Mitarbeitendentypologien“, die vom Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) im Rahmen des Verbundprojekts OFFICE 21® durchgeführt wurde. OFFICE 21® untersucht gemeinsam mit einem interdisziplinären Netzwerk aus Wissenschaft, Lösungsanbietern und Unternehmen aktuelle sowie zukünftige Entwicklungen der Büro- und Wissensarbeit mit dem Ziel, Veränderungen frühzeitig zu erkennen und praxisnahe Handlungsempfehlungen für neue Arbeitswelten abzuleiten. Die Datenerhebung erfolgte in einem mehrmonatigen Zeitraum zwischen 2024 und 2025. An der Umfrage nahmen insgesamt N = 4.508 Personen teil. Nach der Datenbereinigung konnten N = 3.857 Datensätze berücksichtigt werden.

3.2 Variablen

Um zu untersuchen, wo Mitarbeitende bevorzugt arbeiten, im Büro oder im Homeoffice, wurde diese Wahl als zentrale Messgröße betrachtet. Gleichzeitig wurde untersucht, welche Arbeitsbedingung die Wahl des Arbeitsortes beeinflussen könnten. In die Analyse einbezogen wurden daher Einflussfaktoren wie Autonomie, Arbeitsbedingungen im Homeoffice, Büroqualität, Kommunikationsintensität, Arbeitskultur, Leistung, Kreativität, soziale Eingebundenheit, Komplexität der Aufgabe, Motivation, Wohlbefinden und Informiertheit.

3.3 Statistische Auswertung

Zur Prüfung der gleichzeitigen Wirkung mehrerer Einflussfaktoren auf die Arbeitsortwahl wurden anschließend multiple Regressionsanalysen durchgeführt. Dadurch konnte statistisch überprüft werden, welche der betrachteten Faktoren, bei simultaner Kontrolle der übrigen Variablen, einen signifikanten und damit bedeutsamen Beitrag zur Vorhersage der Wahl von Büro bzw. Homeoffice leisten.

4. Ergebnisse

4.1 Einflussfaktoren auf die Wahl des Büros als Arbeitsort

Zur Prüfung der Einflussfaktoren auf die Wahl des Büros als Arbeitsort wurde eine multiple lineare Regression mit 12 Prädiktoren berechnet (N = 1.676). Das Gesamtmodell war signifikant. Die Analyse zeigte, dass das Modell insgesamt sehr gut funktioniert: Zusammen erklären die Faktoren etwa 42 % der Unterschiede im Ergebnis, was ein deutlicher Effekt ist.

Die Betrachtung der einzelnen Einflussfaktoren auf die Entscheidung, im Büro der

Organisation zu arbeiten, zeigt, dass Mitarbeitende das Büro insbesondere dann bevorzugen, wenn die Büroausstattung als hochwertig wahrgenommen wird, ein hoher Kommunikationsanteil besteht und die eigene Performance positiv eingeschätzt wird. Demgegenüber weist die gelebte Arbeitskultur einen leicht negativen Zusammenhang mit dem Anteil der im Büro geleisteten Arbeit auf: Je unterstützender und flexibler die Arbeitskultur wahrgenommen wird, desto geringer fällt der Büroanteil aus. Ein negativer Zusammenhang mit der gelebten Arbeitskultur deutet darauf hin, dass in Unternehmen mit einer unterstützenden und flexiblen Kultur die physische Anwesenheit weniger strikt verlangt wird und Arbeiten im Büro hauptsächlich wegen funktionalen Notwendigkeiten erfolgt.

Andere Einflussfaktoren wie Kreativität, Komplexität (Arbeitsinhalt), soziale Eingebundenheit, Motivation, Wohlbefinden und Informiertheit hatten dagegen keinen spürbaren Einfluss darauf, ob jemand sich dafür entscheidet im Büro zu arbeiten.

4.2 Einflussfaktoren auf die Wahl des Homeoffice als Arbeitsort

Zusätzlich zur Analyse des Büros als Arbeitsort wurde eine multiple lineare Regression mit 12 Prädiktoren (N = 1676) durchgeführt, um die Wahl des Homeoffice als Arbeitsort vorherzusagen. Das Modell erwies sich ebenfalls als signifikant. Die Analyse zeigte, dass die 12 berücksichtigten Faktoren gemeinsam einen signifikanten Einfluss haben und etwa 41 % der Unterschiede in der Homeoffice-Wahl erklären.

Hierbei zeigen die Ergebnisse der Analyse, dass Mitarbeitende vor allem dann eher im Homeoffice arbeiten, wenn die Ausstattung im Homeoffice gut ist und sie sehr selbstständig (autonom) arbeiten.

Die übrigen Einflussfaktoren: Komplexität, soziale Eingebundenheit, Motivation, Arbeitskultur, Wohlbefinden, Performance, Informiertheit und Kreativität, hatten dagegen keinen spürbaren Einfluss auf die Entscheidung, im Homeoffice zu arbeiten.

4.3 Bedeutung des Pendelwegs für die Entscheidung, ins Büro zu kommen

Neben arbeitsbezogenen Einflussfaktoren wurde zusätzlich geprüft, ob auch der Pendelweg eine Rolle für die Entscheidung spielt, ins Büro zu kommen. Operationalisiert wurde dies über ein einzelnes Item, das die pendelwegbezogene Abhängigkeit der Büroentscheidung abfragt.

Das entsprechende Item „Ich mache meine Entscheidung, ins Büro zu gehen, von der Dauer meines Pendelwegs abhängig.“, wurde insgesamt niedrig bewertet. Das heißt, dass der Pendelweg keinen bedeutsamen Einfluss darauf hat, wo man arbeitet.

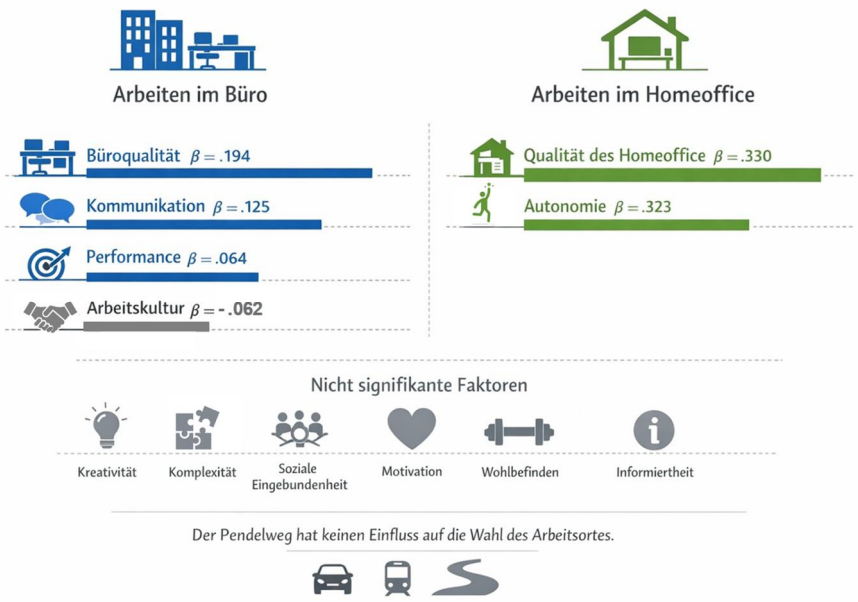


***Abbildung 1**: Einflussfaktoren auf die Wahl des Arbeitsortes - Büro vs. Homeoffice.*

5. Diskussion

Die Ergebnisse der aktuellen Studie mit über 4.500 Teilnehmenden zeigen: Die Präferenz für den Arbeitsort wird maßgeblich durch die Qualität des Arbeitsplatzes, den Grad an Autonomie sowie die wahrgenommene Leistung beeinflusst. Die klassische Pendelstrecke verliert dabei an Bedeutung. Büroarbeit am Unternehmensstandort wird vor allem dann bevorzugt, wenn die Qualität des Arbeitsplatzes stimmt. Für die raum- und architekturbezogene Planung bedeutet dies, dass Büroflächen nicht lediglich vorhanden sein sollten, sondern einen klaren funktionalen Mehrwert gegenüber dem Homeoffice bieten müssen. Zu diesen Mehrwerten zählen beispielsweise eine zuverlässige Infrastruktur, hohe ergonomische Standards, angemessene Raumangebote sowie eine optimale Nutzbarkeit im Arbeitsalltag. Investitionen in die räumliche Qualität sind damit nicht nur ein Komfortthema, sondern potenziell ein Hebel, der mit der tatsächlichen Nutzung des Büros zusammenhängt.

Zudem war ein höherer Anteil im Büro mit einem höheren Kommunikationsanteil bei der Arbeit verbunden. Wenn also Austausch ein zentraler Grund für Büropräsenz ist, steigt zugleich die Bedeutung einer klaren Zonierung: Bereiche für Kommunikation und Kollaboration sollten so gestaltet sein, dass sie Austausch erleichtern, ohne fokussierte Arbeit systematisch zu beeinträchtigen. Daraus folgt eine planerische Notwendigkeit, laute und leise Nutzungen räumlich zu trennen. Rückzugsräume, akustisch geschützte Fokusbereiche und passende Übergänge helfen, das Gleichgewicht zwischen Austausch und Konzentration gezielt zu schaffen.

Das Homeoffice hingegen gewinnt durch hochwertige Ausstattung und die Möglichkeit zur Selbstbestimmung an Attraktivität. Damit lässt sich das Büro, aus funktionaler Perspektive als sozialer und koordinativer Hub interpretieren: Beschäftigte nutzen es eher dann, wenn Abstimmung, Austausch und Zusammenarbeit im Vordergrund stehen. Räumliche Konzepte sollten diese Nutzung gezielt unterstützen, etwa durch gut erreichbare Team- und Projektflächen, geeignete Meetingräume sowie Settings, die spontane und geplante Zusammenarbeit gleichermaßen ermöglichen.

Ergänzend ist zu berücksichtigen, dass mehrere weitere arbeitsbezogene Variablen (z. B. Motivation, Wohlbefinden, Informiertheit, soziale Eingebundenheit oder Kreativität) in beiden Modellen keine zusätzlichen signifikanten Beiträge leisteten. Dies bedeutet nicht zwingend, dass diese Aspekte generell irrelevant sind, sondern dass sie, unter Kontrolle der zentralen Prädiktoren, keine zusätzliche Varianz in der Arbeitsortwahl erklärten.

Für die Praxis bedeutet das: Büros sollten einen klaren Mehrwert gegenüber dem Homeoffice bieten, etwa durch hochwertige Ausstattung und Räume für Zusammenarbeit. Kommunikation ist ein zentraler Grund für Büropräsenz, sollte aber so gestaltet werden, dass konzentriertes Arbeiten weiterhin möglich bleibt. Ein gutes Büro allein reicht nicht aus, um gegen die Vorteile des Homeoffice zu bestehen – es braucht gezielte Lösungen für Zusammenarbeit und soziale Koordination.

Die Ergebnisse müssen im Kontext bestimmter Einschränkungen betrachtet werden: Die zugrunde liegenden Analysen basieren ausschließlich auf Selbstberichten (u. a. potenzielle Unschärfen bei retrospektiven Schätzungen und unterschiedliche Interpretation zentraler Konstrukte). Außerdem wurde der Pendelweg nicht objektiv, sondern über ein einzelnes Item zur subjektiven Entscheidungsrelevanz erfasst, was Reliabilität und Generalisierbarkeit einschränkt.

6. Literatur

Bakker A B, Demerouti E (2007) The Job Demands–Resources model: State of the art. *Journal of Managerial Psychology, 22*(3), 309–328. DOI: https://doi.org/10.1108/02683940710733115. Verfügbar unter: https://peopleful.io/Job-Demands-Resource-Model-research.pdf (Zugegriffen am: 17.12.2025).

Demerouti E, Bakker A B, Nachreiner F, Schaufeli W B (2001) The job demands–resources model of burnout. *Journal of Applied Psychology, 86*(3), 499–512. Verfügbar unter: https://www.wilmar-schaufeli.nl/publications/Schaufeli/160.pdf (Zugegriffen am: 17.12.2025).

Danksagung: Ein besonderer Dank gilt unseren Partnerinnen und Partnern des Innovationsnetzwerks OFFICE21®, sowie allen weiteren Teilnehmenden der Umfrage, deren Unterstützung diese Studie erst möglich gemacht hat.

Hybrides Arbeiten und Bewegung – Verknüpfung von Sensor- und Befragungsdaten

Konstantin WECHSLER, Rolf ELLEGAST, Britta WEBER

Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA)
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)
Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

Kurzfassung: Ein hoher Anteil an sedentärem Verhalten ist mit negativen Gesundheitsfolgen verbunden. Untersuchungen zeigen einen erhöhten Teil sedentären Verhaltens an Tagen im Homeoffice im Vergleich zu Bürotagen, jedoch existieren wenige Erkenntnisse zu Teilabschnitten des Tages wie z. B. Pausen oder Freizeit. Mittels der CUELA-Methode wurde das Bewegungsverhalten von 52 hybrid Arbeitenden über eine Arbeitswoche analysiert. Die Stichprobe war aktiver als die Normalbevölkerung und es zeigte sich, dass im Homeoffice mehr gesessen wurde als im Büro. In der Mittagspause war das MET-Level im Büro höher, aber dort gab es weniger Haltungswechsel. Ein kleiner Teil (6,6 %) der TN erreichte die WHO-Empfehlungen zu körperlicher Aktivität nicht, 26,6 % lagen im Soll, 66,6 % darüber; Alter, Pendelstrecke und Pflegepflichten zeigten keinen Einfluss. Unterschiede in der Pausengestaltung und zwischen einzelnen Tagen bieten einen Ansatz, Empfehlungen für bewegungsfördernde Arbeitsplatzgestaltung und Arbeitsorganisation zu entwickeln.

Schlüsselwörter: Bildschirmarbeit, hybrides Arbeiten, Bewegungsverhalten, CUELA, Beschwerden, Schlafqualität

1. Einleitung

Sedentäres Verhalten (SV) ist ein bedeutender Gesundheitsfaktor. Studien zeigen, dass das Sterberisiko pro zusätzlicher Sitzstunde um etwa 2 % steigt (Holtermann et al., 2017) und Personen, die mehr als acht Stunden täglich sitzen, ein deutlich erhöhtes Mortalitätsrisiko haben (Stamatakis et al. 2019). Langes, ununterbrochenes Sitzen wirkt sich besonders negativ aus und erhöht das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Peereboom et al. 2021). Kurze Unterbrechungen verbessern kardiometabolische Werte (Chastin et al. 2015), und verringern muskuläre Beschwerden (Baker et al. 2018; Coenen et al. 2017).

Büroangestellte sind besonders betroffen, da sie viel Zeit im Sitzen verbringen (Danquah et al. 2017; Hallman et al. 2018). Im Durchschnitt sitzen Erwachsene über acht Stunden täglich (Hagströmer et al. 2010; Matthews et al. 2008), häufig in langen Sitzphasen über 30 Minuten (Healy et al. 2015). Der Arbeitsort beeinflusst die Sitzzeit deutlich: Im Homeoffice (HO) wurden bis zu 74 % der Wachzeit sitzend verbracht, im Büro rund 50 % (Fukushima et al. 2021). Auch nach den Pandemieeinschränkungen blieb der Trend bestehen (Wallmann-Sperlich et al. 2024; Sauter et al. 2025). Neuere Daten bestätigen weiterhin mehr SV und geringeren Energieverbrauch im HO (Tomonaga et al. 2024).

SV und geringe Aktivität stehen mit mehreren Gesundheitsrisiken in Verbindung.

Besonders häufig treten im Homeoffice muskuläre Beschwerden an Rücken, Nacken und Schultern auf (Mahdavi et al. 2021; Loef et al. 2022). Auch die Schlafqualität kann eine Rolle spielen. Während einige Studien keine Unterschiede zwischen HO und Büro finden (Staller et al. 2023), zeigen andere sowohl positive als auch negative Veränderungen (Hrehová et al. 2024). Dass höhere körperliche Aktivität den Schlaf verbessert, ist jedoch gut belegt (Alnawwar et al. 2023; Wang & Boros 2021).

Die WHO empfiehlt Erwachsenen mindestens 150–300 Minuten moderate oder 75–150 Minuten intensive körperlicher Aktivität pro Woche sowie eine Reduktion von langem Sitzen, was jedoch nur von etwa der Hälfte (Frauen 44,8%, Männer 51,2%) der deutschen Erwachsenen erfüllt wird (Richter et al. 2021; Bull et al. 2020). Diese Richtlinien dienen als wichtiger Orientierungsrahmen für gesundheitsförderndes Verhalten. Im Beitrag werden daher die Erfüllung dieser Empfehlungen über den gesamten Messzeitraum betrachtet und eingeordnet.

Unsere Studie untersucht die kontinuierlich gemessene körperliche Aktivität in Abhängigkeit vom Arbeitsort (HO vs. Büro), berücksichtigt Gesundheitsfaktoren wie Schmerz und Schlaf und analysiert detailliert verschiedene Tagesabschnitte wie Arbeitszeit, Pendeln, Pausen und Freizeit.

2. Methoden

2.1 Studiendesign, Stichprobe und Datenerfassung

Die Studie kombinierte Online-Umfragen mit einer sensorbasierten Aktivitätserfassung über eine volle Arbeitswoche. Die freiwillige Rekrutierung erfolgte über die Berufsgenossenschaft Rohstoffe und Chemische Industrie (BG RCI). Teilnehmen konnten volljährige Beschäftigte, die mindestens 30 Stunden pro Woche arbeiten, davon über 50 % am Bildschirm, und in der Studienwoche jeweils an mindestens zwei Tagen sowohl im Homeoffice (AHO) als auch im Büro (AB) hybrid tätig waren.

Nach Aufklärung über Ziele, Datenschutz und Widerrufsmöglichkeit beantworteten die Teilnehmenden einen Online-Fragebogen. Abschnitt 1 enthielt soziodemografische Angaben sowie Fragen zu Gesundheit und Arbeitsbelastung. In Abschnitt 2 gaben sie für jeden Wochentag Arbeitsort (AHO, AB), Pausen sowie das Pendelverhalten an. Abschnitt 3 umfasste standardisierte Fragebögen zu muskuloskelettalen Beschwerden (Hedge et al. 1999) und Schlafqualität (Buysse et al. 1989).

Für die fünf Arbeitstage trugen die Teilnehmenden einen am Oberschenkel befestigten Bewegungssensor (ActivPal4+) zur Erfassung von Haltung und Aktivität. Ablegezeiten wurden dokumentiert. Rohdaten wurden mit der ActivPal-Software (24-h-Protokoll) verarbeitet. Die Zuordnung zu Arbeits- und Freizeitintervallen und die anschließende Datenauswertung erfolgte mit der CUELA Software (DGVU 2020). Analysiert wurden u. a. Haltungen (Sitzen, Stehen, Liegen), Bewegungen, Unterbrechungen langer Sitzzeiten und MET-basierte Aktivitätskategorien. Die MET-Werte wurden entsprechend der Literatur kategorisiert (minimal/inaktiv: <1,5 MET; leicht: ≥1,5 MET; moderat bis intensiv: ≥3,0 MET) (Holtermann et al. 2017; Weber et al. 2024).

2.2 Datenverarbeitung und statistische Verfahren

Für die Analyse wurden die Zeitintervalle pro Tag manuell anhand der Angaben zu Schlaf, Arbeitszeit, Pausen und Pendeln markiert. Die Arbeitszeitanalyse betrachtete

ausschließlich Arbeitszeit, die Wachzeitanalyse die gesamte Wachzeit ausschließlich reiner AHO- oder AB-Tage, wodurch unterschiedliche Stichprobengrößen entstanden.

Bewegungsprofile wurden als kompositionelle Daten behandelt (Van den Boogaart & Tolosana-Delgado 2013; Gupta et al. 2020), da Zeitanteile verschiedener Verhaltensweisen voneinander abhängen. Für Visualisierung und Tests kamen u. a. Aitchison-Geometrie, Wilks'-Theorem (Aitchison 1982; Krzanowski 2000) sowie isometrische Log-Ratio-Transformationen für Regressionsanalysen (Egozcue & Pawlowsky-Glahn 2005) zum Einsatz.

3. Ergebnisse

Es wurde ein hoher Anteil SV sowohl in der Wachzeit- als auch in der Arbeitszeitanalyse gefunden, unabhängig vom Arbeitsort (>64%). Zudem traten längere Sitzphasen von ≥ 30 Minuten besonders ausgeprägt im HO auf (bis zu 46,2%), wenn ausschließlich die Arbeitszeit betrachtet wurde. Auffällig war außerdem, dass die moderat bis intensive Aktivität während der Arbeitszeit im HO am geringsten ausgeprägt war (2,5%), während sie im Büro bis zu 6,6% erreichte. Es ergaben sich keine statistischen Unterschiede bezüglich der Aktivitätsprofile abhängig vom Arbeitsort, jedoch zwischen den beiden Analysevarianten. Die Teilnehmenden verbrachten mehr Zeit in Bewegung und im Stehen, wenn sie nicht arbeiteten.

Weder bezüglich der muskuloskelettalen Beschwerden noch bezüglich der Schlafqualität zeigten sich Zusammenhänge oder Abhängigkeiten zu den Anteilen an SV, Stehen oder Bewegen.

Bei spezieller Betrachtung einzelner Abschnitte des Tages zeigte sich, dass in der Mittagspause die MET-Werte im Büro um 6,6% im Vergleich zum HO erhöht waren, jedoch nur halb so viele Haltungswechsel wie im HO stattfanden (2,7/h Büro, 5,4/h HO).

Der Abgleich mit den Empfehlungen der WHO ergab, dass 6,6% der Teilnehmenden diese nicht erreichten, 26,6% im empfohlenen Bereich lagen und 66,6% sogar darüber. Bei Abgleich der Empfehlungserreichung mit dem Alter, der Pendelstrecke und der Pflegeverpflichtung fanden sich keine Auffälligkeiten.

4. Diskussion

Es zeigten sich keine Unterschiede der Aktivitätsprofile abhängig vom Arbeitsort, jedoch kleine Auffälligkeiten z. B. bei der Gestaltung der Mittagspausen. Beim Abgleich mit den WHO-Empfehlungen fällt auf, dass die Stichprobe sehr viel aktiver als die Normalbevölkerung in Deutschland ist. Dies kann zum einen mit einer Auswahlverzerrung zusammenhängen oder auch mit dem Phänomen, dass Personen, die an derartigen Untersuchungen teilnehmen, ihr Verhalten im Untersuchungszeitraum anpassen. Jedoch bestehen diese Probleme auch bei anderen Studien (Johansson et al. 2020; Wahlström et al. 2023), die teils jedoch unterschiedliche Ergebnisse fanden. Der Trend zahlreicher anderer Studien, dass beim Arbeiten im HO leicht erhöhtes SV zu finden ist, bestätigt sich in dieser Untersuchung ebenfalls deskriptiv. Es zeigten sich keine Zusammenhänge oder Abhängigkeiten des Bewegungsverhaltens in Bezug auf Schlafqualität oder muskuloskelettale Beschwerden. Mögliche Wechselwirkungen bei einzelnen Personen der Stichprobe können dadurch nicht ausgeschlossen werden.

Der Untersuchungsansatz erwies sich als geeignet, das Bewegungsverhalten und zahlreiche weitere Gesundheitsfaktoren sehr detailliert und zeitlich zuordenbar zu erfassen. Die gewonnen Ergebnisse bieten einen Ansatz, gezielt inaktivere Teilnehmende mit zugeschnittenen Angeboten in der Prävention zu erreichen.

5. Literatur

Aitchison J (1982) The statistical analysis of compositional data. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological) 44(2):139-160

Alnawwar MA, Alraddadi MI, Algethmi RA, Salem GA, Salem MA, Alharbi AA (2023) The effect of physical activity on sleep quality and sleep disorder: a systematic review. Cureus 15(8)

Baker R, Coenen P, Howie E, Williamson A, Straker L (2018) The short term musculoskeletal and cognitive effects of prolonged sitting during office computer work. International journal of environmental research and public health 15(8):1678

Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, Borodulin K, Buman MP, Cardon G, Carty C, Chaput J-P, Chastin S, Chou R (2020) World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. British journal of sports medicine 54(24):1451-1462

Buysse DJ, Reynolds III CF, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ (1989) The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. Psychiatry research 28(2):193-213

Chastin SF, Egerton T, Leask C, Stamatakis E (2015) Meta-analysis of the relationship between breaks in sedentary behavior and cardiometabolic health. Obesity 23(9):1800-1810

Coenen P, Healy GN, Winkler EA, Dunstan DW, Owen N, Moodie M, LaMontagne AD, Eakin EA, Straker LM (2017) Pre-existing low-back symptoms impact adversely on sitting time reduction in office workers. International archives of occupational and environmental health 90(7):609-618

Danquah IH, Kloster S, Holtermann A, Aadahl M, Bauman A, Ersbøll AK, Tolstrup JS (2017) Take a Stand!–a multi-component intervention aimed at reducing sitting time among office workers–a cluster randomized trial. International journal of epidemiology 46(1):128-140

DGVU (2020) Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

Egozcue JJ, Pawlowsky-Glahn V (2005) Groups of parts and their balances in compositional data analysis. Mathematical Geology 37(7):795-828

Fukushima N, Machida M, Kikuchi H, Amagasa S, Hayashi T, Odagiri Y, Takamiya T, Inoue S (2021) Associations of working from home with occupational physical activity and sedentary behavior under the COVID-19 pandemic. Journal of occupational health 63(1):e12212

Gupta N, Rasmussen CL, Holtermann A, Mathiassen SE (2020) Time-Based Data in Occupational Studies: The Whys, the Hows, and Some Remaining Challenges in Compositional Data Analysis (CoDA). Annals of Work Exposures and Health 64(8):778-785

Hagströmer M, Troiano RP, Sjöström M, Berrigan D (2010) Levels and patterns of objectively assessed physical activity—a comparison between Sweden and the United States. American journal of epidemiology 171(10):1055-1064

Hallman DM, Mathiassen SE, Jahncke H (2018) Sitting patterns after relocation to activity-based offices: A controlled study of a natural intervention. Preventive Medicine 111:384-390

Healy GN, Winkler EA, Owen N, Anuradha S, Dunstan DW (2015) Replacing sitting time with standing or stepping: associations with cardio-metabolic risk biomarkers. European heart journal 36(39):2643-2649

Hedge A, Morimoto S, McCrobie D (1999) Cornell musculoskeletal discomfort questionnaire. Ergonomics

Holtermann A, Schellewald V, Mathiassen SE, Gupta N, Pinder A, Punakallio A, Veiersted KB, Weber B, Takala E-P, Draicchio F (2017) A practical guidance for assessments of sedentary behavior at work: A PEROSH initiative. Applied ergonomics 63:41-52

Hrehová L, Bušková J, Seifert B, Mezian K (2024) Working from home is associated with changes in sleep hygiene practice. Work 77(4):1135-1142

Johansson E, Mathiassen SE, Lund Rasmusse C, Hallman DM (2020) Sitting, standing and moving during work and leisure among male and female office workers of different age: a compositional data analysis. BMC Public Health 20(1):1-11

Krzanowski W (2000) Principles of multivariate analysis. OUP Oxford,

Loef B, van Oostrom SH, van der Noordt M (2022) Working from home during the COVID-19 pandemic and its longitudinal association with physical activity and sedentary behavior. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health 48(5):380

Mahdavi SB, Riahi R, Vahdatpour B, Kelishadi R (2021) Association between sedentary behavior and low back pain; A systematic review and meta-analysis. Health promotion perspectives 11(4):393

Matthews CE, Chen KY, Freedson PS, Buchowski MS, Beech BM, Pate RR, Troiano RP (2008) Amount of time spent in sedentary behaviors in the United States, 2003–2004. American journal of epidemiology 167(7):875-881

Peereboom K, Langen N, Copsey S (2021) Prolonged static sitting at work: health effects and good practice advice. European Agency for Safety and Health at Work: Bilbao, Spain

Richter A, Schienkiwitz A, Starker A, Krug S, Domanska O, Kuhnert R, Loss J, Mensink G (2021) Gesundheitsfördernde Verhaltensweisen bei Erwachsenen in Deutschland–Ergebnisse der Studie GEDA 2019/2020-EHIS.

Sauter M, Backé E, Pfab C, Prigge M, Brendler C, Liebers F, von Löwis P, Pfeiffer A, Papenfuss F, Hegewald J (2025) Comparison of sedentary time, number of steps and sit-to-stand-transitions of desk-based workers in different office environments including working from home: analysis of quantitative accelerometer data from the cross-sectional part of the SITFLEX Study. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health

Staller N, Quante M, Deutsch H, Randler C (2023) Onsite versus home-office: differences in sleep patterns according to workplace. Somnologie 27(4):272-279

Stamatakis E, Gale J, Bauman A, Ekelund U, Hamer M, Ding D (2019) Sitting time, physical activity, and risk of mortality in adults. Journal of the American College of Cardiology 73(16):2062-2072

Tomonaga R, Watanabe Y, Jiang Y, Nakagawa T, Yamato H (2024) Comparison of physical activity and sedentary behavior between work in office and work from home: a self-controlled study. Journal of Occupational and Environmental Medicine 66(4):344-348

Van den Boogaart KG, Tolosana-Delgado R (2013) Analyzing compositional data with R. Springer,

Wahlström V, Januario LB, Mathiassen SE, Heiden M, Hallman DM (2023) Hybrid office work in women and men: do directly measured physical behaviors differ between days working from home and days working at the office? Annals of Work Exposures and Health 67(9):1043-1055

Wallmann-Sperlich B, Bucksch J, Lendt C, Biallas B, Bipp T, Froboese I (2024) Home office shift and sedentary behaviour in Germany during the COVID-19 pandemic: descriptives and related socioecological correlates. Ergonomics 67(1):1-12

Wang F, Boros S (2021) The effect of physical activity on sleep quality: a systematic review. European journal of physiotherapy 23(1):11-18

Weber B, Hermanns-Truxius I, Wechsler K, Ellegast R Proposal for the Assessment of Technically Measured Physical Activity and Sedentary Behavior at the Workplace. Congress of the International Ergonomics Association: Springer, S 16-25

Inklusion wirksam gestalten: Was körperlich Behinderte und psychisch Erkrankte von Führung erwarten

Viktoria ARLING, Jens KNISPEL, Veneta SLAVCHOVA

Institut für Psychologie, Lehr- und Forschungsgebiet Gesundheitspsychologie
RWTH Aachen University, Jägerstr. 17-19, D-52066 Aachen

Kurzfassung: Gesundes Führen gewinnt in heterogenen Belegschaften an Bedeutung, wobei sich körperlich behinderte und psychisch erkrankte Beschäftigte trotz ähnlicher Arbeitsbedingungen deutlich unterscheiden. In einer Online-Befragung von 313 Personen zeigten psychisch erkrankte Beschäftigte geringere Resilienz und Arbeitszufriedenheit, weniger Inklusionserleben sowie mehr psychische Beanspruchung. Qualitativ lehnten sie laissez-faire-Führung überwiegend ab, während körperlich behinderte Menschen darin teils Chancen für ihre Autonomie sahen; transaktionale Führung wurde von beiden Gruppen positiv bewertet. Transformationale Führung erwies sich als stärkste Ressource, muss jedoch zielgruppenspezifisch ausgestaltet werden, um gesundes und inklusives Führen zu fördern.

Schlüsselwörter: gesundheitsförderliche Führung, psychische Erkrankung, körperlich Behinderung

1. Hintergrund und Zielstellung

Körperlich behinderte und psychisch erkrankte Mitarbeitende sind häufig unter vergleichbaren Arbeitsbedingungen tätig. Es ist jedoch anzunehmen, dass sie sich vermutlich hinsichtlich ihrer individuellen Vulnerabilität, Ressourcen und Belastungen unterscheiden. Diese Unterschiede sind insbesondere im Rahmen des Diathese-Stress-Modells relevant, das die Entstehung von Erkrankungen als Zusammenspiel individueller Vulnerabilität und belastender Stressoren beschreibt (Zubin & Spring, 1977).

Arbeitsbezogene Belastungsfaktoren wie Zeitdruck, Überforderung oder soziale Konflikte erhöhen den erlebten Stress, können die individuelle Vulnerabilitätsschwelle überschreiten und so das Auftreten von Erkrankungen oder Rückfällen begünstigen (Mathisen et al., 2024). Gleichzeitig bietet der Arbeitskontext jedoch auch Chancen: Er kann als Ressource wirken, indem er Struktur im Alltag schafft, Sinn vermittelt und soziale Einbindung fördert (Jahoda, 1987). Auf diese Weise kann Arbeit einen gesundheitsförderlichen Beitrag leisten.

Ein zentraler Faktor für gesundheitsförderliche Arbeitsgestaltung ist das Verhalten von Führungskräften, da der Führungsstil Wohlbefinden und Arbeitszufriedenheit von Mitarbeitenden beeinflusst (Gerardi et al., 2014; Franke et al., 2014). Zur Einordnung von Führungsstilen wird häufig das „Full Range of Leadership Model“ von Bass und Avolio (1994) genutzt, das drei grundlegende Führungsstile unterscheidet:

- Bei dem *Laissez-faire-Führungsstil* werden Entscheidungen weitgehend den Mitarbeitenden überlassen. Der Einfluss der Führungskraft ist minimal.
- Der *transaktionale Führungsstil* beschreibt eine Austauschbeziehung zwischen

Führungskraft und Mitarbeitenden, in der Ziele klar definiert, Leistungen belohnt und Fehlleistungen ggf. sanktioniert werden.
- Der *transformationale Führungsstil* zeichnet sich durch eine stärkere emotionale Bindung zwischen Führungskraft und Mitarbeitenden aus, wodurch Organisationsziele durch die Mitarbeitenden internalisiert werden.

Obwohl Zusammenhänge zwischen Führungsstil und gesundheitsrelevanten Konstrukten wie Wohlbefinden oder Arbeitszufriedenheit nachgewiesen sind, bleibt unklar, was Menschen mit körperlicher Behinderung oder psychischer Erkrankung von Führung erwarten. Ziel dieser Studie war es in diesem Sinne, Unterschiede zwischen beiden Gruppen hinsichtlich ihrer Resilienz und Arbeitszufriedenheit, ihres Inklusionserlebens und ihrer psychischen Beanspruchung (Depressivität) sowie ihrer Präferenzen für Führungsstile zu untersuchen.

2. Methode

Insgesamt nahmen 313 Personen an der Online-Befragung teil (M = 34,9 Jahre, SD = 11,41 Jahre), davon 134 mit körperlicher Behinderung und 179 mit psychischer Erkrankung. Über beide Gruppen hinweg lässt sich die Stichprobe als überwiegend weiblich (67,8%) und gut gebildet beschreiben. Die Teilnehmenden waren häufig in sozialen Berufen tätig, hatten oft bis sehr oft Kontakt zu Vorgesetzten und arbeiteten überwiegend in Vollzeit. Ein Großteil der Stichprobe verfügte zudem über eine offizielle Diagnose für ihre Erkrankung (94,3%).

Als Einschlusskriterien galten das Vorliegen einer chronischen körperlichen oder psychischen Erkrankung sowie eine aktuelle Berufstätigkeit, in deren Rahmen zumindest gelegentlich Kontakt zu einer Führungskraft besteht.

Im Rahmen der Studie wurden den Teilnehmenden beider Gruppen (körperlich behindert/ psychisch erkrankt) drei aufeinander abfolgende Szenarien präsentiert, in denen eine Führungskraft unter Berücksichtigung der drei Führungsstile (laissez-faire, transaktional und transformational) eine Arbeitsaufgabe übergab (siehe Abbildung 1). Anschließend sollten die Teilnehmenden jeweils auf einer sechsstufigen Skala angeben, ob sie den entsprechenden Führungsstil befürworteten (1 = „Ich stimme überhaupt nicht zu“ bis 6 = „Ich stimme voll und ganz zu“) und ihre Entscheidung in allen drei Fällen qualitativ begründen.

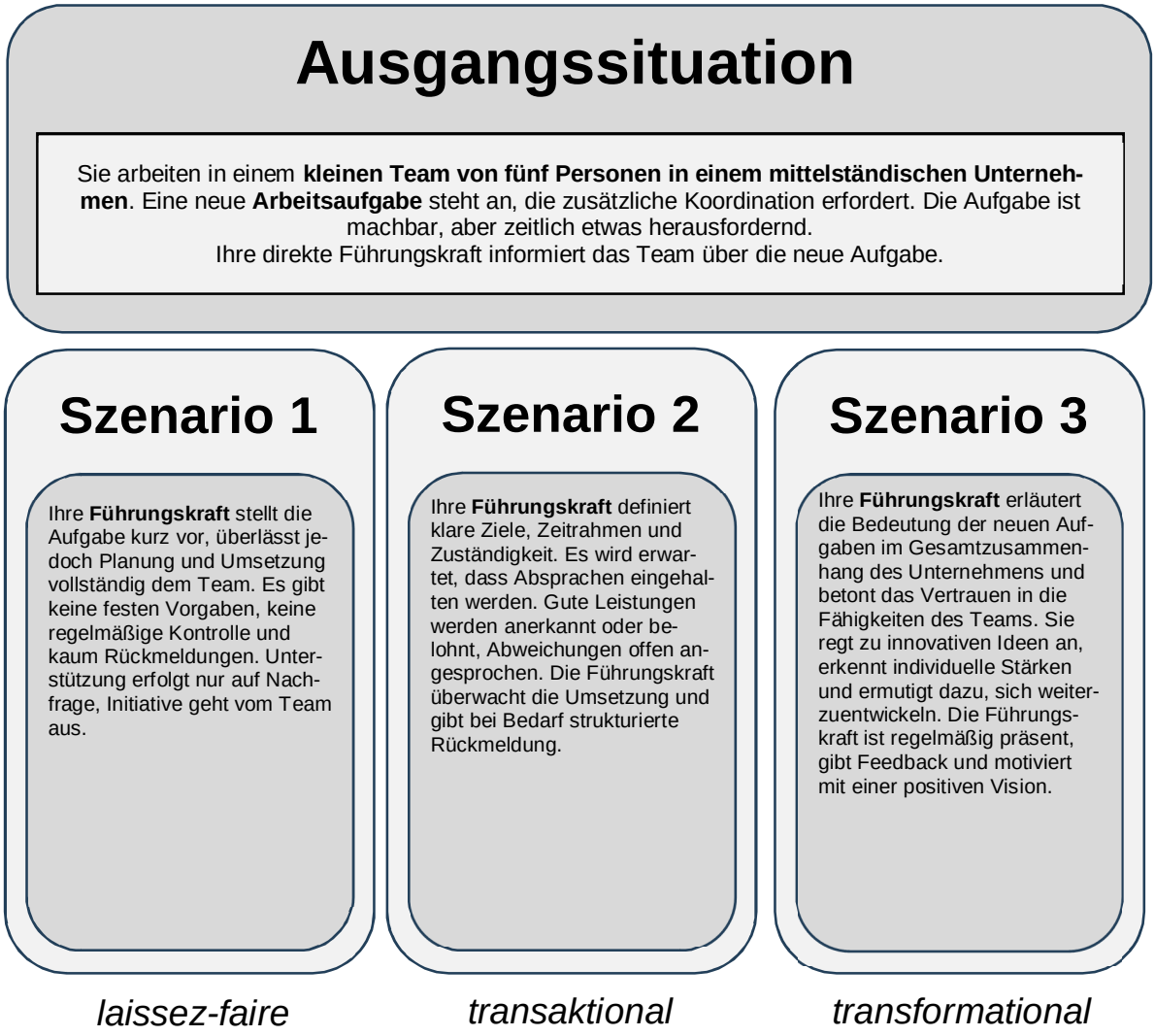


Abbildung 1: *Beschreibung der Ausgangssituation und der Führungsszenarien.*

Ergänzend zu den Szenarien wurden die Teilnehmenden mittels Fragebögen zu verschiedenen weiteren Konstrukten befragt: berufliche Resilienz (Optimismus, Akzeptanz, Lösungsorientierung, Selbstfürsorge, Netzwerkorientierung, Verantwortungsübernahme, Zukunftsorientierung), Arbeitszufriedenheit, Inklusionserleben und Depressivität.

In Tabelle 1 sind die verwendeten Fragebögen sowie exemplarische Items aufgeführt. Die interne Konsistenz der Fragebögen liegt sowohl bei Teilnehmenden mit psychischen als auch mit körperlichen Erkrankungen im akzeptablen bis exzellenten Bereich (Blanz, 2015).

Tabelle 1: *Fragebögen, Beispielitems, Deskriptionen und Reliablitäten der eingesetzten Instrumente.*

Fragebogen	Beispielitem	körperlich		psychisch	
		MW (SD)	**α**	**MW (SD)**	**α**
Berufliche Resilienz (RB-7-30, Knispel et al., 2024; Skalierung von 1 = ‚stimme überhaupt nicht zu' bis 6 = ‚stimme voll und ganz zu')					
Optimismus	Ich bin mir sicher, dass ich an beruflichen Krisen wachsen kann.	4.28 (0.89)	.83	3.81 (1.06)	.84
Akzeptanz	Ich kann damit umgehen, dass ich nicht auf alles im Berufsleben einen Einfluss habe.	3.98 (1.05)	.83	3.54 (1.11)	.83
Lösungsorientierung	Bei beruflichen Schwierigkeiten suche ich Lösungen aus mehreren Blickwinkeln.	4.53 (0.72)	.79	4.20 (0.76)	.75
Selbstfürsorge	Ich höre auf meinen Körper und gönne ihm Ruhepausen vom Beruf.	3.91 (1.25)	.89	3.50 (1.29)	.90
Netzwerkorientierung	Bei beruflichen Schwierigkeiten suche ich aktiv nach Unterstützung durch Kollegen.	4.42 (0.92)	.79	4.19 (1.14)	.79
Verantwortungsübernahme	Wenn ich auf der Arbeit einen Fehler mache, übernehme ich dafür Verantwortung.	5.16 (0.58)	.81	4.98 (0.73)	.79
Zukunftsorientierung	Ich habe klare berufliche Ziele, die ich verfolge.	3.83 (1.07)	.83	3.35 (1.31)	.87
Arbeitszufriedenheit (Skala Allgemeine Arbeitszufriedenheit; Fischer & Lück, 1997; Skalierung von 1 = „richtig" bis 5 = „falsch")					
Arbeitszufriedenheit	Ich habe richtige Freunde an der Arbeit.	3.82 (0.65)	.79	3.50 (0.83)	.84
Inklusionserleben (Perceived Group Inclusion Scale (Chakraverty et al., 2023; Skalierung von 1 = „trifft überhaupt nicht zu" bis 5 = „trifft voll und ganz zu")					
Zugehörigkeit	Diese Gruppe gibt mir das Gefühl, dazu zu gehören.	4.11 (0.66)	.91	3.73 (0.93)	.94
Authentizität	Diese Gruppe erlaubt mir, authentisch zu sein.	3.85 (0.84)		3.38 (1.13)	
Fragebogen	**Beispielitem**	**MW (SD)**	r_{sb}	**MW (SD)**	r_{sb}
Depressivität (Patient Health Questionnaire - 2; Kroenke et al., 2003; Skalierung von 0 = „Überhaupt nicht" bis 3 = „Beinahe jeden Tag")					
Depressivität	Wenig Interesse oder Freude an Ihren Tätigkeiten	1.75 (0.72)	.73	2.58 (0.88)	.77

Anmerkungen: α = Cronbachs Alpha, r_{sb} = Spearman-Brown

3. Ergebnisse

Psychisch erkrankte Beschäftigte berichteten im Vergleich zu körperlich behinderten Befragten geringere Resilienz (v. a. Optimismus, Selbstfürsorge, Zukunftsplanung), niedrigere Arbeitszufriedenheit, reduziertes Inklusionserleben und höhere Depressivität ($p < .001$).

Bzgl. der Präferenzen (vgl. Tabelle 2) zeigte sich, dass die drei Führungsstile in beiden Gruppen unterschiedlich bewertet wurden ($p < .001$). Konkret lehnten die Befragten beider Gruppen den laissez-faire Führurungsstil am ehesten ab. Im Mittelfeld lag der transaktionale Führungsstil. Der transformationale Führungsstil wurde von körperlich behinderten und psychisch erkrankten Menschen vergleichsweise am deutlichsten bevorzugt.

Tabelle 2: *Deskriptive Werte der Präferenz zu den Führungsstilen.*

	körperlich			psychisch		
Präferenz der Führungsstile	MW	SD	Emp. Spanne	MW	SD	Emp. Spanne
laissez-faire	3.25	1.07	1 - 6	3.24	1.29	1 - 6
transaktional	4.65	1.15	2 - 6	4.54	1.29	1 - 6
transformational	5.11	1.16	1 - 6	5.16	1.19	1 - 6

Die Auswertung der qualitativen Begründungen für die Präferenz des Führungsstils erfolgte nach der qualitativen Inhaltsanalyse von Mayring und Fenzl (2019). Es ergaben sich Hinweise, dass beide Gruppen die Führungsstile unterschiedlich beurteilen. Körperlich Behinderte sahen im laissez-fairen Stil teils Chancen durch Autonomie, kritisierten jedoch fehlende Unterstützung. Psychisch Erkrankte lehnten laissez-faire qualitativ noch einmal stärker ab, da aus ihrer Sicht dadurch Unsicherheit und Stress verstärkt würden. Transaktionale Führung wurde in beiden Gruppen positiv beurteilt, wobei körperlich Behinderte vor allem Struktur, psychisch Erkrankte stärker Sicherheit und Kommunikation betonten. Transformationale Führung erhielt die höchste Zustimmung, aber mit unterschiedlichen Schwerpunkten: während körperlich behinderte Beschäftigten Fortschritt und Kooperation betonten, fokussierten psychisch erkrankte Menschen auf Wertschätzung, Vertrauen und Sinnhaftigkeit.

4. Diskussion und Fazit

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass körperlich behinderte Menschen insbesondere von klaren Strukturen, Unterstützung und Autonomie profitieren. Menschen mit psychischen Erkrankungen hingegen ziehen vor allem Nutzen aus Präsenz, Sicherheit, klarer Kommunikation und Sinnhaftigkeit. Dies verdeutlicht, dass gesundheitsförderliche Führung nicht pauschal auf alle Zielgruppen übertragbar ist, sondern differenziert und zielgruppenspezifisch gestaltet werden muss.

Darüber hinaus verdeutlichen die Befunde, dass psychisch erkrankte Mitarbeitende im Vergleich zu körperlich behinderten Teilnehmenden besonders vulnerable Gruppen darstellen: Sie berichten über geringere Resilienz, insbesondere in den Bereichen Optimismus, Selbstfürsorge und Zukunftsplanung, niedrigere Arbeitszufriedenheit, reduziertes Inklusionserleben sowie höhere Depressivität. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, gesundheitsförderliche Führung nicht nur allgemein, sondern gezielt an die spezifischen Bedürfnisse psychisch erkrankter Mitarbeitender anzupassen. Während körperlich behinderte Beschäftigte vor allem von klaren Strukturen, Unterstützung und Autonomie profitieren, benötigen psychisch erkrankte Mitarbeitende zusätzlich Sicherheit, klare Kommunikation und Sinnvermittlung, um ihre Ressourcen zu stärken und Belastungen abzufedern.

Gleichzeitig sollten Führungskräfte aus Sicht sowohl körperlich als auch psychisch erkrankter Mitarbeitender vorrangig auf transformationale Führung setzen, da dieser Führungsstil die stärkste gesundheitsförderliche Ressource darstellt. Transaktionale Elemente können ergänzend eingesetzt werden, während laissez-faire-Elemente nur sehr zurückhaltend Anwendung finden sollten, wenn inklusive Arbeitswelten erfolgreich gestaltet werden sollen. Damit stehen die vorliegenden Ergebnisse im Einklang mit bisherigen Befunden, die dem laissez-fairen Führungsstil einen eher destruktiven Einfluss auf Mitarbeitende zuschreiben (Zhang et al., 2023), während transformationale Führung als gesundheitsförderlich gilt (Felfe, 2006).

5. Take Home Message

Gesundheitsförderliche Führung muss zielgruppenspezifisch gestaltet werden und psychisch erkrankte Beschäftigte stellen dabei eine besonders vulnerable Gruppe dar.

6. Literatur

Bass BM, Avolio BJ (1994) Transformational leadership and organizational culture. The International Journal of Public Administration 17:541-554. https://doi.org/10.1080/01900699408524907

Blanz M (2015) Forschungsmethoden und Statistik für die Soziale Arbeit: Grundlagen und Anwendungen, 2. Auflage. Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer. http://www.kohlhammer.de/wms/instances/KOB/appDE/nav_product.php?product=978-3-17-039818-4.

Chakraverty V, Zimmer H, Niehaus M (2023) Eine Frage der Wertschätzung, Passung und Normen: Organisationale Rahmenbedingungen für das Inklusionserleben von Arbeitnehmenden mit dauerhaften gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie 67:149-162. https://doi.org/10.1026/0932-4089/a000412.

Franke F, Felfe J, Pundt A (2014) The impact of health-oriented leadership on follower health: Development and test of a new instrument measuring health-promoting leadership. German Journal of Human Resource Management 28:139-161. https://doi.org/10.1177/ 239700221402800108.

Felfe J (2006) Transformationale und charismatische Führung – Stand der Forschung und aktuelle Entwicklungen. Zeitschrift für Personalpsychologie 5:163-176. https://doi.org/10.1026/1617-6391.5.4.163.

Fischer L, Lück HE (1997) Allgemeine Arbeitszufriedenheit. Zusammenstellung sozialwissenschaftlicher Items und Skalen (ZIS). https://doi.org/10.6102/ZIS1.

Gerardi C, Gregersen S, Merboth H, Nordbrock C, Pavlovsky B (2014) Fachkonzept. Führung und psychische Gesundheit. Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). https://www.dguv.de/medien/inhalt/praevention/fachbereiche_dguv/fb_gib/psyche/broschuere_fuehrung.pdf.

Jahoda M (1987) A limited view of adult development. American Psychologist 42:267-267. https://doi.org/10.1037/h0092032.

Knispel J, Slavchova V, Kahlhofer F, Arling V (2024) Entwicklung und dimensionale Validierung einer 7-Säulen-Resilienzskala für den Berufskontext (RB-30). In: Deutsche Rentenversicherung Bund (Hrsg) 33. Rehabilitationswissenschaftliches Kolloquium, Bd. 130, S. 28-30. Bremen: DRV-Schriften.

Kroenke K, Spitzer RL, Williams JBW (2003) The Patient Health Questionnaire-2: Validity of a two-item depression screener. Medical Care 41:1284. https://doi.org/10.1097/01.MLR.0000093487.78664.3C

Mathisen J, Nguyen T-L, Madsen IEH, Xu T, Jensen JH, Sørensen JK, Rugulies R, Rod NH (2024) Associations between psychosocial work environment factors and first-time and recurrent treatment for depression: A prospective cohort study of 24,226 employees. Epidemiology and Psychiatric Sciences 33:13. https://doi.org/10.1017/S2045796024000167

Mayring P, Fenzl T (2019) Qualitative Inhaltsanalyse. In: Baur N, Blasius J (Hrsg) Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung, 2. Aufl., S. 633–648. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21308-4_42.

Zhang J, Wang Y, Gao F (2023) The dark and bright side of laissez-faire leadership: Does subordinates' goal orientation make a difference? Frontiers in Psychology 14:1077357. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1077357.

Zubin J, Spring B (1977) Vulnerability: A new view of schizophrenia. Journal of Abnormal Psychology 86:103-126. https://doi.org/10.1037/0021-843X.86.2.103.

Führung als Wahrnehmungsprozess – Ein Modell wahrnehmungszentrierter Führung im digitalen Wandel

Lukas BURCHARD

Arbeitsgebiet Arbeitswissenschaft und Arbeitspsychologie (AWIP)
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg
Siemens-Halske-Ring 14, D-03046 Cottbus

Kurzfassung: Die digitale Transformation verändert Arbeitskontexte und erhöht die Bedeutung von Wahrnehmungsprozessen in der Führung. Der Beitrag entwickelt ein Modell wahrnehmungszentrierter Führung, dass Führung nicht primär über Verhalten, sondern über die Wahrnehmung und Interpretation durch Mitarbeitende erklärt. Zentrale Elemente sind die Übereinstimmung zwischen Selbst- und Fremdwahrnehmung von Führung (Self–Other Agreement), psychologische Wirkfaktoren sowie organisationale Kontexte. Führung wird als rekursiver Wahrnehmungs- und Deutungsprozess konzeptualisiert. Abschließend wird ein Mixed-Methods-Design zur empirischen Evaluation des Modells skizziert.

Schlüsselwörter: Führung im digitalen Wandel, wahrnehmungszentrierte Führung, Selbst- und Fremdwahrnehmung, Führungswirksamkeit

1. Einleitung

Die digitale Transformation verändert industrielle Arbeits- und Organisationskontexte und erhöht die Komplexität von Führungsaufgaben. Automatisierung, Künstliche Intelligenz und cyber-physische Systeme beeinflussen Kommunikations-, Entscheidungs- und Koordinationsprozesse und erschweren unter Bedingungen von Unsicherheit, Beschleunigung und räumlicher Distanz direkte Steuerung und unmittelbare Rückkopplung (Bauer & Hofmann 2018; Schuh et al. 2020; Lord et al. 2017).

Empirische Forschung zeigt, dass Führungswirksamkeit nicht allein vom intendierten Führungsverhalten abhängt, sondern maßgeblich davon, wie Führung von Mitarbeitenden wahrgenommen und interpretiert wird (Lord & Maher 1991). In diesem Zusammenhang gewinnt die Übereinstimmung zwischen Selbst- und Fremdwahrnehmung von Führung an Bedeutung. Studien zum Self–Other Agreement belegen, dass Wahrnehmungskongruenz mit höherem Vertrauen, besserem Teamklima und größerer Führungswirksamkeit einhergeht, während Wahrnehmungsdifferenzen diese Prozesse beeinträchtigen können (Atwater & Yammarino 1992; Fleenor et al. 2010). Digitale und hybride Arbeitsformen verstärken diese Dynamik, da informelle Rückmeldungen reduziert sind und Führung stärker über medienvermittelte Kommunikation wahrgenommen wird (Zeike et al. 2019).

Trotz dieser Befunde fehlt bislang ein integrativer Bezugsrahmen, der Führung systematisch als Wahrnehmungsprozess konzeptualisiert und Selbst- und Fremdwahrnehmung mit psychologischen Wirkfaktoren verknüpft. Ziel dieses Beitrags ist es, ein Modell wahrnehmungszentrierter Führung vorzustellen, dass Führung als sozialen Wahrnehmungsprozess in digitalen Arbeitswelten beschreibt.

2. Theoretischer Bezugsrahmen

2.1 Wahrnehmung als Wirkungsebene von Führung

Führung entfaltet ihre Wirkung nicht unmittelbar über beobachtbares Verhalten, sondern über die Wahrnehmung und Interpretation dieses Verhaltens durch Mitarbeitende. Wahrnehmung ist dabei ein aktiver, konstruktiver Prozess, der durch kognitive Schemata, Erwartungen, emotionale Zustände und situative Kontexte geprägt ist (Lord & Maher 1991). Führung kann folglich nicht unabhängig von den Deutungsprozessen der Geführten verstanden werden; identisches Führungsverhalten kann je nach Wahrnehmungskontext unterschiedlich bewertet werden.

Die Social-Cognition-Perspektive beschreibt Führung als informationsverarbeitenden Prozess, in dem Mitarbeitende Führungsverhalten anhand mentaler Modelle interpretieren (Lord & Maher 1993). Wahrnehmung fungiert dabei als vermittelnde Instanz zwischen Führungsintention und Führungswirkung und bestimmt, welche Aspekte von Führung beachtet, wie sie interpretiert und welche Schlussfolgerungen daraus gezogen werden. Führung ist damit weniger eine objektiv messbare Eigenschaft von Personen als vielmehr ein sozial zugeschriebener Status, der aus kollektiven Wahrnehmungs- und Bewertungsprozessen entsteht (Lord et al. 2020). Entsprechend spiegeln Führungsurteile häufig relativ stabile evaluative Einstellungen wider, die das arbeitsbezogene Verhalten gegenüber der Führungskraft steuern (Lee et al. 2015).

Unter Bedingungen digitaler und hybrider Arbeit gewinnt diese Perspektive weiter an Bedeutung. Reduzierte direkte Beobachtbarkeit, eingeschränkte informelle Interaktion und medienvermittelte Kommunikation erhöhen die Relevanz subjektiver Interpretation gegenüber objektivem Verhalten (Zeike et al. 2019). Führung wird damit zunehmend zu einem wahrnehmungszentrierten Prozess.

2.2 Selbst- und Fremdwahrnehmung von Führung (Self–Other Agreement)

Ein zentraler Aspekt wahrnehmungszentrierter Führung ist die Übereinstimmung zwischen Selbst- und Fremdwahrnehmung von Führung. Das Konzept des Self–Other Agreement beschreibt den Grad der Kongruenz oder Differenz von der wahrgenommenen Führung zwischen der Selbsteinschätzung von Führungskräften und den Einschätzungen durch Mitarbeitende (Atwater & Yammarino 1992). Empirische Studien zeigen, dass hohe Wahrnehmungskongruenz mit höherem Vertrauen, besserem Teamklima und größerer Führungswirksamkeit einhergeht, während Wahrnehmungsdifferenzen diese Prozesse beeinträchtigen können (Fleenor et al. 2010).

Wahrnehmungsdifferenzen können unterschiedliche Ausprägungen annehmen, etwa über- oder unterschätzende Selbstwahrnehmung. Entscheidend für die Führungswirksamkeit ist jedoch nicht das absolute Niveau der Einschätzungen, sondern deren Passung. Self–Other Agreement ist kein statischer Zustand, sondern Ergebnis fortlaufender Wahrnehmungs- und Rückkopplungsprozesse. Feedbackkultur, psychologische Sicherheit und emotionale Intelligenz fördern realistische Selbstbilder und reduzieren Wahrnehmungslücken (Edmondson 1999; Judge & Bono 2001). Gleichzeitig beeinflussen strukturelle und kontextuelle Faktoren wie Teamstrukturen und Kommunikationsmedien die Entstehung von Wahrnehmungskongruenz. Digitale Arbeitskontexte erschweren diesen Abgleich

zusätzlich, da Rückmeldungen reduziert und Wahrnehmungsdifferenzen länger stabil bleiben können (Zeike et al. 2019).

2.3 Psychologische Wirkfaktoren der Führungswahrnehmung

Wahrnehmungskongruenz oder -differenz und die daraus resultierende Führungswirksamkeit werden wesentlich durch psychologische Wirkfaktoren moderiert. Diese fungieren als Filter, über die Führungshandeln wahrgenommen, bewertet und in erlebte Unterstützung oder Ablehnung übersetzt wird (Lord & Maher 1991). Zentrale Wirkfaktoren sind Vertrauen, psychologische Sicherheit, Empathie, Partizipation und Reflexionsfähigkeit.

Diese Faktoren wirken nicht isoliert, sondern in Kombination. Vertrauen und psychologische Sicherheit ermöglichen eine wohlwollende Interpretation von Führung und erleichtern offene Rückmeldung (Mayer et al. 1995; Edmondson 1999). Empathie, emotionale Intelligenz, Partizipation und transparente Kommunikation erhöhen die Anschlussfähigkeit von Führung, während Reflexion die adaptive Anpassung von Führungsverhalten an Rückmeldungen und veränderte Kontexte unterstützt (Yukl 2013). Unter Bedingungen digitaler und hybrider Arbeit gewinnen diese Wirkfaktoren zusätzliche Bedeutung und sind daher integrativ als vermittelnde Mechanismen zwischen Führungsintention, Wahrnehmung und Wirkung zu berücksichtigen.

3. Grundmodell wahrnehmungszentrierter Führung

Das Grundmodell wahrnehmungszentrierter Führung versteht Führung als rekursiven Wahrnehmungs- und Deutungsprozess, in dem intendierte Führung, psychologische Wirkfaktoren und organisationale Kontexte über Wahrnehmung zur Führungswirkung vermittelt werden. Abbildung 1 visualisiert die zentralen Ebenen und Wirkungszusammenhänge des Modells.

Ausgangspunkt ist die intendierte Führung, verstanden als Selbstwahrnehmung der Führungskraft. Diese intendierte Führung ist durch individuelle Merkmale der Führungskraft, wie eigene Werte, Ziele und Handlungsstrategien, geprägt und strukturiert deren Handlungsausrichtung (Lord & Maher 1991).

Die intendierte Führung trifft auf eine mehrschichtige Wahrnehmungsbrille bei den Mitarbeitenden, die als psychologisches Filtersystem bestimmt, wie Führung wahrgenommen und interpretiert wird. Diese Wahrnehmungsbrille umfasst eine kollektive, eine relationale und eine individuelle Ebene (vgl. Abbildung 1).

Auf kollektiver Ebene beeinflussen Teamklima, geteilte Wahrnehmungen, Sensemaking sowie organisationale Werte und Führungskultur die kollektive Deutung von Führung (Weick 1995) und bilden den organisationalen sowie normativen Rahmen von Führung. Die relationale Ebene umfasst insbesondere Vertrauen, Fairness, psychologische Sicherheit sowie wahrgenommene Unterstützung und Partizipation, welche die Qualität der Führungsbeziehung prägen (Edmondson 1999; Mayer et al. 1995). Sie bestimmt die Wahrnehmung der Führungskraft, die Beziehungsqualität sowie die Wirksamkeit gemeinsamer Interaktionen. Auf individueller Ebene wirken unter anderem Empathie, emotionale Intelligenz, implizite Führungstheorien sowie individuelle Erwartungen und motivationsbezogene Unterschiede der Mitarbeitenden, die bestimmen, wie Führungssignale bewertet werden (Epitropaki & Martin 2005). Die Wahrnehmungsbrille vermittelt damit zwischen Führungsintention und erlebter Führungswirkung, indem Führungshandeln in einen subjektiv bedeutsamen Kontext

eingeordnet wird. Die im Modell abgebildeten Wirkungsdimensionen umfassen zentrale psychologische Outcomes wie Vertrauen, Identifikation, Motivation und Leistung als Indikatoren von Führungswirksamkeit (Yukl 2013).

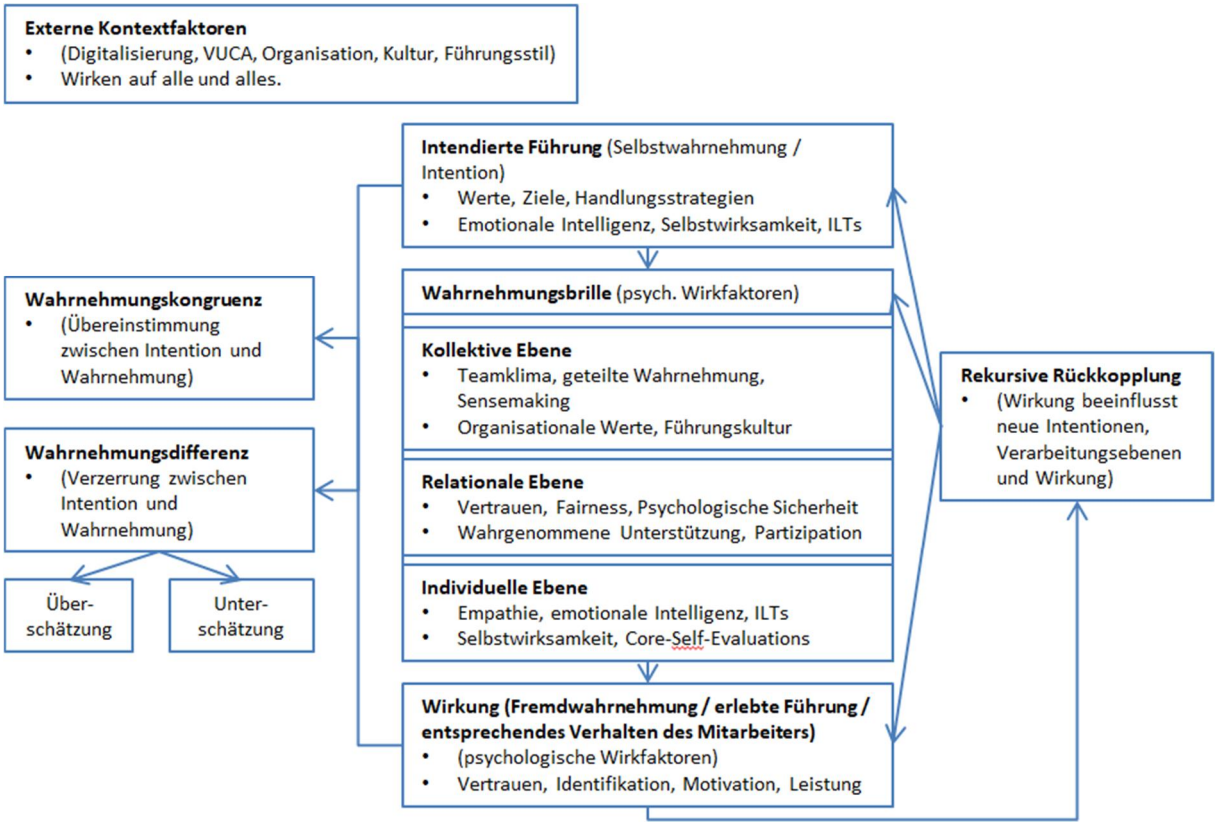


***Abbildung 1**: Grundmodell wahrnehmungszentrierter Führung (eigene Darstellung).*

Die Wirkung beschreibt die erlebte Führungswirkung sowie die Fremdwahrnehmung von Führung auf Seiten der Mitarbeitenden und umfasst kognitive, affektive und verhaltensbezogene Reaktionen. Sie äußert sich sowohl in der Bewertung der Führungskraft als auch im arbeitsbezogenen Verhalten und bildet die unmittelbare Wirkungsebene des Modells.

Ein zentrales Element ist die Unterscheidung zwischen Wahrnehmungskongruenz und Wahrnehmungsdifferenz. Wahrnehmungskongruenz beschreibt den Grad der Passung zwischen der intendierten Führung aus Sicht der Führungskraft und der erlebten Führung aus Sicht der Mitarbeitenden. Hohe Kongruenz geht empirisch mit höherem Vertrauen, besserem Teamklima und erhöhter Führungswirksamkeit einher (Atwater & Yammarino 1992; Fleenor et al. 2010). Wahrnehmungsdifferenzen verweisen hingegen auf Abweichungen zwischen Selbst- und Fremdwahrnehmung von Führung, etwa in Form von über- oder unterschätzender Selbstbewertung der Führungskraft, die unter anderem Orientierung, Akzeptanz, psychologische Sicherheit und Führungswirksamkeit beeinträchtigen können.

Das Modell konzeptualisiert Führung ausdrücklich als rekursiven Prozess. Die erlebte Führungswirkung und das daraus resultierende arbeitsbezogene Verhalten wirken über Rückkopplungsschleifen auf zukünftige Führungsintentionen, Wahrnehmungsrahmen und nachfolgende Führungswirkungen zurück.

Führungskräfte passen ihr Selbstbild und ihr Verhalten auf Basis erlebter Wirkung an, während Mitarbeitende ihre Wahrnehmungsschemata fortlaufend aktualisieren.

Führung wird damit als kontinuierlich neu zu interpretierender und anzupassender Prozess verstanden (Lord et al. 2017).

Als übergeordnete Rahmung integriert das Modell externe Kontextfaktoren wie Digitalisierung, organisationale Strukturen, kulturelle Rahmenbedingungen und VUCA-Bedingungen. Diese wirken auf alle Ebenen des Modells, indem sie Führungsintentionen, Wahrnehmungsprozesse und Wirkungen strukturieren. Insbesondere digitale und hybride Arbeitskontexte verstärken die Bedeutung von Wahrnehmungsprozessen und psychologischen Wirkfaktoren, da Abweichungen zwischen intendierter und erlebter Führung schwerer erkenn- und korrigierbar sind (Zeike et al. 2019).

Zusammenfassend verlagert das Grundmodell wahrnehmungszentrierter Führung den Fokus von beobachtbarem Führungsverhalten auf die Wahrnehmung von Führung sowie auf die Bedingungen, unter denen Führung gedeutet und als wirksam erlebt wird. Wahrnehmung wird damit als zentrale Wirkungsebene von Führung konzeptualisiert und bildet die theoretische Grundlage für die empirische Evaluation des Modells im Kontext digitaler Transformationsprozesse.

4. Geplante Methode zur Evaluation des Modells

Zur empirischen Überprüfung des Modells wahrnehmungszentrierter Führung ist ein Mixed-Methods-Design vorgesehen. Ziel ist es, Wahrnehmungskongruenzen und -diskrepanzen zwischen Selbst- und Fremdwahrnehmung von Führung sowie deren Zusammenhang mit Führungswirksamkeit zu analysieren.

Quantitativ ist eine dyadische Erhebung geplant, bei der Führungskräfte ihre Selbstwahrnehmung und Mitarbeitende parallel die erlebte Führung einschätzen. Der Grad der Wahrnehmungskongruenz wird über Übereinstimmungs- und Differenzmaße operationalisiert (Atwater & Yammarino 1992; Fleenor et al. 2010). Erfasst werden zentrale Konstrukte des Modells, insbesondere Wahrnehmung von Führung, ausgewählte psychologische Wirkfaktoren sowie Indikatoren der Führungswirksamkeit.

Ergänzend sind qualitative Interviews mit Führungskräften und Mitarbeitenden vorgesehen. Diese dienen der vertiefenden Rekonstruktion von Wahrnehmungs- und Deutungsprozessen sowie der Kontextualisierung der quantitativen Befunde, insbesondere im Hinblick auf digitale und organisationale Rahmenbedingungen.

Durch die Kombination beider Zugänge soll das Modell sowohl empirisch geprüft als auch konzeptionell angereichert werden. Der methodische Ansatz trägt der Annahme Rechnung, dass Führungswahrnehmung ein kontextabhängiger Prozess ist, der nicht allein über standardisierte Messinstrumente abgebildet werden kann.

5. Erwartete Implikationen und Zielsetzung

Das Modell wahrnehmungszentrierter Führung leistet einen Beitrag zur Führungs- und Arbeitswissenschaft, indem es Wahrnehmung systematisch als zentrale Wirkungsebene von Führung konzeptualisiert. Es erweitert bestehende Führungsansätze, indem Selbst- und Fremdwahrnehmung sowie psychologische Wirkfaktoren integrativ verknüpft und Führung als rekursiven Wahrnehmungs- und Deutungsprozess im Kontext digitaler Arbeit beschreibt.

Für die Praxis der Arbeitsgestaltung und Führungskräfteentwicklung ergibt sich daraus eine Verschiebung des Fokus von intendiertem Führungsverhalten hin zur bewussten Gestaltung von Wahrnehmungs- und Rückkopplungsprozessen. Insbesondere die Auseinandersetzung mit der eigenen Wirkung, mit Wahrnehmungskongruenz und -differenzen sowie mit den psychologischen Bedingungen wirksamer Führung gewinnt an Bedeutung.

Ziel dieses Beitrags ist es, einen theoretisch fundierten und arbeitswissenschaftlich anschlussfähigen Bezugsrahmen für Führung im digitalen Wandel bereitzustellen. Das vorgestellte Modell ist im Kontext eines laufenden Dissertationsprojekts entwickelt worden und bildet die konzeptionelle Grundlage für eine geplante empirische Evaluation. Es soll als Grundlage für weiterführende Forschung als auch als Impuls für eine reflexive, wahrnehmungszentrierte Gestaltung von Führung in industriellen Transformationsprozessen diene.

6. Literatur

Atwater L, Yammarino F (1992) Does self-other agreement on leadership perceptions moderate the validity of leadership and performance predictions? Personnel Psychology 45:141–164.

Bauer W, Hofmann J (2018) Arbeit 4.0 – Digitalisierung der Arbeitswelt. In: Bauer W, Schlund S (Hrsg) Arbeitswelt der Zukunft. Stuttgart: Fraunhofer IRB, 9–25.

Bass BM, Yammarino FJ (1991) Congruence of self and others' leadership ratings of naval officers for understanding successful performance. Applied Psychology 40:437–454.

Edmondson A (1999) Psychological safety and learning behavior in work teams. Administrative Science Quarterly 44:350–383.

Epitropaki O, Martin R (2005) From ideal to real: A longitudinal study of the role of implicit leadership theories on leader–member exchanges and employee outcomes. Journal of Applied Psychology 90:659–676.

Fleenor JW, Smither JW, Atwater LE, Braddy PW, Sturm RE (2010) Self–other rating agreement in leadership: A review. Leadership Quarterly 21:1005–1034.

Judge TA, Bono JE (2001) Relationship of core self-evaluations traits to job satisfaction and job performance. Journal of Applied Psychology 86:80–92.

Lee A, Martin R, Thomas G, Guillaume YRF, Maio GR (2015) Conceptualizing leadership perceptions as attitudes. Leadership Quarterly 26:910–934.

Lord RG, Maher KJ (1991) Leadership and information processing: Linking perceptions and performance. Boston: Unwin Hyman.

Lord RG, Maher KJ (1993) Leadership and information processing: A social-cognitive perspective. London: Routledge.

Lord RG, Epitropaki O, Foti RJ, Hansbrough TK (2020) Implicit leadership theories, implicit followership theories, and dynamic processing of leadership information. Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior 7:49–74.

Lord RG, Day DV, Zaccaro SJ, Avolio BJ, Eagly AH (2017) Leadership in applied psychology. American Psychologist 72:434–451.

Mayer RC, Davis JH, Schoorman FD (1995) An integrative model of organizational trust. Academy of Management Review 20:709–734.

Schuh G, Anderl R, Gausemeier J, ten Hompel M, Wahlster W (2020) Industrie 4.0 Maturity Index. München: Herbert Utz Verlag.

Weick KE (1995) Sensemaking in organizations. Thousand Oaks CA: Sage.

Yukl G (2013) Leadership in organizations. 8th edn. Boston: Pearson.

Zeike S, Bradbury K, Lindert L, Pfaff H (2019) Digital leadership skills and associations with psychological well-being. International Journal of Environmental Research and Public Health 16:2628.

Beyond Tech: Human-Centered Innovation Framework

Franziska HEIN-PENSEL, Sebastian SCHUHMANN
Institut für Angewandte Informatik e. V., Goerdelerring 9, D-04109 Leipzig

Kurzfassung: Innovation gilt als wesentlicher Motor für wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Fortschritt. Ihre erfolgreiche Einführung erfordert jedoch mehr als die Entwicklung neuer Ideen: Entscheidend ist die wirksame Gestaltung von Annahme- und Diffusionsprozessen innerhalb von Organisationen und Märkten. Aufbauend auf der Diffusionstheorie von Rogers sowie bekannten Adoptions- und Akzeptanzmodellen untersucht diese Arbeit den Innovationsentscheidungsprozess von der Wissensphase über Überzeugung und Implementierung bis hin zur Bestätigung.
Da sich bestehende Modelle in der Praxis häufig als zu abstrakt oder zu komplex erweisen und den spezifischen organisationalen Kontext nur unzureichend abbilden, wurde zur Entwicklung eines praxistauglichen Innovationsframeworks ein explorativer Forschungsansatz gewählt. Zwei Fokusgruppen mit Expert:innen aus unterschiedlichen Branchen wurden zu ihren Erfahrungen und Herausforderungen bei der Einführung digitaler Innovationen befragt. Die qualitativen Ergebnisse dienten dazu, Barrieren und Erfolgsfaktoren zu identifizieren und in das Framework zu integrieren.
Die Arbeit schlägt ein vereinfachtes Innovationsframework vor, durch das bestehende theoretische Ansätze an die Realität von Unternehmen angepasst werden. Ziel ist es, den gesamten Innovationsprozess systematisch und menschenzentriert abzubilden und Organisationen ein praxisnahes Werkzeug zu bieten, welches digitale Innovationsvorhaben von der ersten Idee über die Entscheidungs- und Umsetzungsphase bis zur nachhaltigen Verankerung zielgerichtet und wirksam zu gestalten.

Schlüsselwörter: Innovationsframework, humanzentrierte Gestaltung, Praxis, Fokusgruppen, Innovationsprozess

1. Einleitung

Unternehmen finden sich oft in zunehmend dynamischen Umfeldern wieder; das äußert sich z.B. in Veränderungen der Nachfrage durch Konsumierende, kürzeren Produktzyklen oder höherer Produktvielfalt mit kleineren Produktionszahlen (Ngoc et al. 2022). Innovationen ermöglichen es Unternehmen, interne Prozesse zu optimieren, Wettbewerbsfähigkeit zu stärken oder neue Märkte zu erschließen. Wissenschaftlich werden Innovationen als Ideen, Praktiken oder Objekte verstanden, die von den beteiligten Akteur:innen als neu wahrgenommen werden (Rogers, 2003). Das heißt, vorhandenes Wissen oder Ressourcen werden neu genutzt und kombiniert, um neuartige Erkenntnis zu gewinnen. Die Beurteilung der Neuartigkeit und des geschaffenen Mehrwerts unterliegt dabei der subjektiven Einschätzung.

Innovation ist daher (auch) ein sozialer Prozess: Neue Lösungen müssen sich verbreiten und akzeptiert werden. Die Berücksichtigung der Bedürfnisse aller betroffenen Gruppen der Innovation kann die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass diese sich erfolgreich durchsetzt. Oft werden jedoch technische Innovation sogar auf Kosten ökologi-

scher und speziell sozialer Aspekte durchgesetzt (Ghobakhloo et al. 2025). Das Konzept Industrie 5.0 setzt genau dort an und setzt auf die Reintegration menschlicher Faktoren in automatisierten Produktionsumgebungen, die so nachhaltiger und menschgerechter werden sollen (Nazarejova et al. 2024, Zincume & Maier 2025). Ein wesentliches Ziel besteht dabei darin, menschliche Fähigkeiten, Talente und Kreativität mit technologischen Möglichkeiten, z.B. KI, zu ergänzen. (Nazarejova et al. 2024). Damit wird der Mensch anstatt eines “Schwachpunkts” zu einem wesentlichen “Erfolgskriterium” umdefiniert (Alves et al. 2023).

Der von Rogers beschriebene Innovationsentscheidungsprozess umfasst die Wissens-, Überzeugungs-, Entscheidungs-, Implementierungs- und Bestätigungsphase. Zahlreiche Adoptionsmodelle, etwa das Technology Acceptance Model (TAM) oder die Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT), erklären die Annahme neuer Technologien. Für den betrieblichen Alltag sind diese Modelle jedoch häufig zu abstrakt, konzentrieren sich nur auf Teilaspekte des Diffusionsprozesses von Innovationen oder liefern kaum präskriptive Hilfestellungen.

Um Innovationen in Unternehmen zu fördern, können praxistaugliche Ansätze unterstützen, die den gesamten Innovationsprozess abbilden, einen niedrigen Komplexitätsgrad aufweisen und gleichzeitig menschliche Bedürfnisse, organisationalen Kontext sowie technologische und ethische Anforderungen berücksichtigen. Durch eine frühzeitige Einbindung der Anforderungen und Interessen verschiedener betroffener Stakeholder-Gruppen kann dabei die Akzeptanz von unternehmerischen Neuerungen erhöht und die Diffusion befördert werden. Ziel dieses Beitrags ist es, mit dem Human-Centered Innovations Framework (HC-IF) einen solchen Ansatz zu erarbeiten.

2. Methodik

Die Entwicklung des HC-IF folgt dabei einem mehrstufigen, explorativen Forschungsdesign, das nachfolgend dargelegt werden soll.

2.1 Bedarfserhebung

In zwei Fokusgruppenworkshops mit je fünf Entscheidungsträger:innen und Innovationsverantwortlichen aus kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) der Region Mitteldeutschland wurde der Status Quo erhoben. Die Teilnehmenden erhielten zunächst einen Impulsvortrag zum Thema Innovationsframeworks und Vorstellung gängiger Adoptions- und Akzeptanzmodelle. Im Anschluss folgte ein offener Austausch. Die Analyse der Fokusgruppen hat gezeigt, dass Unternehmen bislang häufig nicht aktiv Modelle oder Frameworks für interne Innovationsprozesse nutzen. Als wesentlicher Grund wurde dabei die fehlende Praxistauglichkeit bestehender Modelle geäußert. Vor allem die Komplexität und Abstraktheit dieser Ansätze wurden negativ hervorgehoben. Zudem wurden während der Diskussion u. a. mangelnde Nutzerakzeptanz, fehlende Ressourcen für iterative Testungsprozesse, unklare Verantwortlichkeiten sowie Bedenken hinsichtlich Datenschutzes und Nachhaltigkeit genannt. Diese Ergebnisse decken sich mit denen aus der Fachliteratur (vgl. Wojtaszek et al. 2025). Während der Workshops wurden zentrale Problemstellungen für die Erstellung eines praxistauglichen HC-IF identifiziert.

2.2 Analyse bestehender Modelle

Auf Basis der zuvor bestimmten Praxisbedarfe wurden zentrale Theorien und Modelle hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf Kontexte von KMUs untersucht. Ausgangspunkt waren dabei die Diffusionstheorie nach Rogers (2003), das TAM (Venkatesh et al. 2003), UTAUT (Venkatesh et al. 2012) sowie Elemente aus Design Thinking und Change-Management. Diese Modelle liefern Unternehmen bereits Orientierung bei bestimmten Prozessschritten bzw. Aspekten von Innovationsgeschehen. Der Fokus der Modelle bewegt sich dabei von der Erklärung der Diffusionsprozesse neuer Technologien bis hin zu Handlungsanweisungen für Änderungsprozesse unter Berücksichtigung institutioneller Faktoren und Beschränkungen der betroffenen Organisationen und deren Mitglieder. Letzteres kann Aspekte der Kommunikation umfassen (vgl. Elving 2005).

2.3 Entwicklung

Ziel dieser Arbeit war es, (1) diese Konzepte miteinander zu verknüpfen, um so den gesamten Innovationsprozess abzubilden (Invention und Diffusion) unter Berücksichtigung des technischen, organisationalen und sozialen Kontexts und (2) durch eine Verschlankung den Anforderungen aus der Unternehmenspraxis gerecht zu werden. Die Erkenntnisse mündeten in ein modular aufgebautes HC-IF. Es integriert nutzerzentrierte und kollaborative Vorgehensweisen, um Artefakte zu schaffen und evaluieren, die konkrete Probleme lösen können und die daher anschließend Organisationen eine systematische Prozessarchitektur für die Umsetzung (digitaler) Innovationen bereitstellen.

3. Vorstellung des HC-IF

3.1 Kriterien für das HC-IF

Nach Abgleich der Bedarfe der Unternehmen und Konsolidierung bestehender Innovationsmodelle und -frameworks konnten Kriterien abgeleitet werden, die zu folgenden drei Dimensionen zusammengefasst werden konnten und die das HC-IF erfüllen muss:

1. *Menschzentriertheit* (ethisch)
2. *Durchführbarkeit für Innovation- & KMU-Kontexte* (Praxisrelevanz)
3. *Wissenschaftlichkeit & Übertragbarkeit* (Forschungsbeitrag)

Um der Dimension der Menschzentriertheit gerecht zu werden, muss das Framework gewisse Werte wie Schutz der menschlichen Würde, Autonomie, Sicherheit und Inklusion widerspiegeln. Damit geht es über Produktivitäts- oder Effizienzkriterien hinaus und fördert explizit menschliches Wohlbefinden.

Hinsichtlich der Praxisnähe muss eine einfache Umsetzbarkeit durch das HC-IF gewährleistet sein. Dieses muss dabei sowohl technische und rechtliche als auch organisatorische Aspekte berücksichtigen. Bereits vorab muss im Framework die Skalierbarkeit und Modularität der Innovationen berücksichtigt werden. Dabei müssen Beschränkungen für KMUs z.B. hinsichtlich vorhandener Ressourcen (Zeit, Kosten, Fähigkeiten) berücksichtigt werden.

Schließlich muss das HC-IF Ansprüchen der Wissenschaftlichkeit und Übertragbar-

keit genügen. Dazu gehört eine klare Problemrelevanz, durch gut dokumentierte Problemstellungen im Unternehmen, sowie ein Fokus auf Mensch-Technik-Interaktion.

3.2 Leitprinzipien für das Human-Centered Innovation Framework

Um eine Grundlage für ein menschengerechtes und zukunftsfähiges Vorgehen zu schaffen und eine übergeordnete Richtung für alle Prozessschritte vorzugeben, wurden auf Basis der abgeleiteten Kriterien vier grundlegenden Leitprinzipien für das HC-IF entwickelt. Diese Leitprinzipien übersetzen die vorherigen Kriteriendimensionen in praktische Anforderungen an das HC-IF um, die den Rahmen für den gesamten Innovationsprozess des HC-IF schaffen und ihn strukturieren (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: *HC-IF Leitprinzipien.*

HC-IF Leitprinzipien	Beschreibung
Empathie und Nutzendenzentrierung	Tiefes Verständnis von Bedürfnissen und Erwartungen der Nutzenden
Kollaboration	Interdisziplinäre Zusammenarbeit innerhalb und außerhalb der Organisation
Iterative Entwicklung	Frühe Prototypen und kontinuierliche Feedbackschleifen zur Risikominimierung
Nachhaltigkeit	ökologische, soziale und ökonomische Verantwortung als durchgängiges Kriterium

Im Unterschied zu rein prozessualen Modellen adressieren die Leitprinzipien nicht nur das *Wie* der Innovation, sondern explizit auch das *Warum* und *Wozu*. Damit übernehmen sie eine steuernde und evaluative Funktion, indem sie als Referenzrahmen für Entscheidungsfindung, Priorisierung und Bewertung einzelner Gestaltungsmaßnahmen dienen. Insbesondere im Kontext von KMUs, die häufig durch begrenzte Ressourcen, informelle Entscheidungsstrukturen und heterogene Akteursrollen geprägt sind, ist eine solche übergeordnete Orientierungsebene von zentraler Bedeutung (vgl. Ghobakhloo, 2020; Hevner et al., 2004).

Die vier Leitprinzipien - Empathie und Nutzendenzentrierung, Kollaboration, iterative Entwicklung sowie Nachhaltigkeit - bilden dabei bewusst keine isolierten Einzelaspekte, sondern ein integriertes Prinzipienset, dessen Elemente sich gegenseitig ergänzen und bedingen. Darauf aufbauend gliedert das HC-IF den Innovationsprozess in drei aufeinander aufbauende Phasen, die sich an Rogers' Innovationsentscheidungsprozess anlehnen und für die Unternehmenspraxis konkretisiert wurden (siehe Abbildung 1).

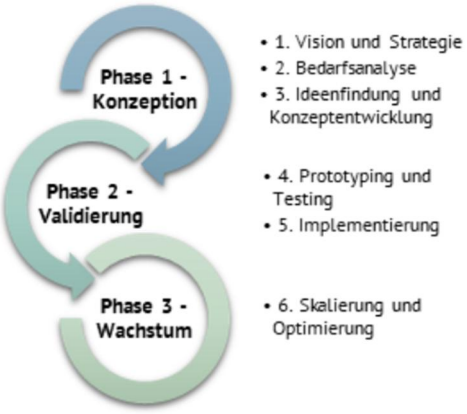


Abbildung 1: *HC-IF Phasen.*

Die **erste Phase: Konzeption**, legt das Fundament für eine erfolgreiche Innovation. Sie umfasst die strategische Verankerung der Innovationsabsichten, die Definition einer klaren Vision und die Auswahl geeigneter Handlungsfelder, beispielsweise Produkt-, Prozess- oder Geschäftsmodellinnovationen. In dieser Phase werden die Bedürfnisse und Erwartungen der Nutzenden ermittelt und in konkrete Problemstellungen übersetzt. Hier ist besonders das Leitprinzip der Empathie Nutzendenzentrierung leitend, das sicherstellt, dass das zu adressierende Problem nicht nur technisch oder ökonomisch definiert, sondern aus der Perspektive der betroffenen Menschen verstanden wird. Geeignete Methoden sind Bedarfsanalysen, Interviews, Umfragen oder Customer-Journey-Mapping, mit denen konkretere Vorstellungen von Problemstellungen erlangt und Zielvorgaben besser formuliert werden können. Dies kann durch kollaborative Formate wie Design-Thinking-Workshops oder Co-Creation-Sessions ergänzt werden. Für KMU können diese Methoden besonders relevant sein, da Wissen häufig personengebunden und nicht formalisiert vorliegt, so aber offengelegt werden kann. Eine frühzeitige Prüfung der rechtlichen, technischen und ressourcenbezogenen Rahmen sichert die tatsächliche Umsetzbarkeit der Ideen ab.

In der **zweiten Phase: Validierung**, werden die vielversprechendsten Konzepte schrittweise erprobt und weiterentwickelt. Ziel ist es, Unsicherheiten durch frühe Rückmeldungen zu reduzieren und die Eignung der Lösungen für den Markt zu überprüfen. Dies geschieht über Rapid Prototyping, Usability-Tests, A/B-Tests und agile Projektmanagementmethoden wie Scrum oder Kanban. Kollaborative Ansätze regen weiterhin Lernprozesse an und ermöglichen soziale Aushandlungsprozesse. Das iterative Vorgehen stellt sicher, dass Innovation nicht als linearer Prozess verstanden wird, sondern als zyklischer Lernprozess, in dem Annahmen kontinuierlich überprüft und angepasst werden. Ein begleitendes Innovations-Controlling stellt sicher, dass Kosten-Nutzen-Relationen jeder Iteration bewertet und Skalierungspotenziale erkannt werden (vgl. Böhme et al. 2025).

Die **dritte Phase: Wachstum**, zielt auf die Verstetigung und kontinuierliche Verbesserung der Innovation. Erfolgreiche Pilotlösungen werden in den Regelbetrieb überführt, Qualitäts- und Wartungsstrukturen aufgebaut und Produkte oder Services auf Basis von Nutzungsdaten weiterentwickelt. KPI-gestützte Steuerung, kontinuierliche Feedbackschleifen und Change-Management-Maßnahmen unterstützen diesen Prozess. Besondere Bedeutung kommt dabei kontinuierlichen Feedback-Loops zu, etwa in Form von Pulse Surveys oder über Mitarbeiterplattformen. Sie ermöglichen es, Fortschritte regelmäßig zu überprüfen, neue Bedarfe früh zu erkennen und notwendige Anpassungen unmittelbar vorzunehmen. Das Leitprinzip der Nachhaltigkeit erweitert den Innovationsprozess um eine langfristige, systemische Perspektive zur Verstetigung und Verbreitung der Innovationsergebnisse. Ergänzende Maßnahmen in den Organisationen sind die Planung und Durchführung von Lern- und Qualifizierungsformaten und die kritische Reflexion möglicher unbeabsichtigter, durch die Innovationen verursachter Nebenwirkungen.

Durch die explizite Operationalisierung der Leitprinzipien wird das HC-IF von einem normativen Orientierungsrahmen zu einem methodisch belastbaren Innovationsinstrument. Mit der schlanken Konzeptionierung lässt sich das HC-IF nahtlos in bestehende Unternehmensprozesse und strategische Roadmaps einbinden. Eine erste Anwendungsmöglichkeit eröffnet der vom Projekt KMI entwickelte Digital Index[22], der zentrale Elemente des HC-IF in Roadmapping-Prozesse integriert und damit eine kontinuierliche, strategisch verankerte Umsetzung unterstützt.

[22] https://digitalindex.uni-leipzig.de/

4. Fazit und Ausblick

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass die erfolgreiche Umsetzung digitaler Innovationen in Unternehmen – insbesondere in KMUs – weit über die Einführung neuer Technologien hinausgeht. Vielmehr ist Innovation als sozio-technischer Veränderungsprozess zu verstehen, dessen Erfolg maßgeblich von Akzeptanz, Beteiligung und organisationaler Lernfähigkeit abhängt. Mit dem HC-IF wird ein praxisnaher, theoretisch fundierter Orientierungsrahmen entwickelt, der diesen Anforderungen Rechnung trägt und den gesamten Innovationsprozess von der Ideenfindung bis zur nachhaltigen Verankerung in der Organisation strukturiert begleitet.
Trotz der positiven Potenziale des HC-IF ergeben sich zugleich Ansatzpunkte für weiterführende Forschung. Zukünftige Arbeiten sollten das Framework in unterschiedlichen organisationalen und branchenspezifischen Kontexten empirisch erproben und systematisch evaluieren, etwa durch qualitative Fallstudien, quantitative Erhebungen oder Längsschnittanalysen. Dabei wäre insbesondere zu untersuchen, wie sich einzelne Leitprinzipien auf Akzeptanz, Nutzung und langfristige Wirkung digitaler Innovationen auswirken und welche Wechselwirkungen zwischen organisationaler Kultur, Unternehmensstruktur und Innovationsdynamik bestehen.

5. Literatur

Alves, J., et al. (2023). Human-centric manufacturing. Processes, 11(1). DOI: 10.3390/pr11010193.
Böhme, C., et al. (2025). Advancing HCD. AHFE Proceedings. DOI: 10.54941/ahfe1005841.
Elving, W. J. L. (2005). The role of communication in organisational change. Corporate Communications, 10(2), 129–138. DOI: 10.1108/13563280510596943.
Ghobakhloo, M., et al. (2025). Human-centric manufacturing systems. International Journal of Production Research. DOI: 10.1080/00207543.2025.2559137.
Hevner, A. R., et al. (2004). Design Science in IS Research. MIS Quarterly, 28(1), 75–105.
Nazarejova, J., et al. (2024). Human-centered SMEs. Sustainability, 24(14). DOI: 10.3390/s24144681.
Ngoc, H. N., et al. (2022). Human-centred design in Industry 4.0. Journal of Intelligent Manufacturing. DOI: 10.1007/s10845-021-01796-x.
Rogers, E. M. (2003). Diffusion of Innovations (5. Aufl.). New York: Free Press.
Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. MIS Quarterly, 27(3), 425–478.
Venkatesh, V., Thong, J. Y. L., & Xu, X. (2012). Consumer Acceptance and Use of Information Technology: Extending the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. MIS Quarterly, 36(1), 157–178.
Wojtaszek, H., et al. (2025). Barriers to innovation in SMEs. Sustainability, 17(16). DOI: 10.3390/su17167525.
Zincume, P. N., & Maier, M. (2025). Human-centred SME factories. Future Business Journal. DOI: 10.1186/s43093-025-00553-3.

Danksagung: Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt KMI (FKZ: 02L 19C500) wird im Rahmen der Fördermaßnahme „Zukunft der Arbeit: Regionale Kompetenzzentren der Arbeitsforschung – Künstliche Intelligenz" im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen" des Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

Aufstieg mit Hemmnissen: Retrospektive Analyse der Auswirkung von Feuerwehrschutzbekleidung auf die Leistungsfähigkeit von Feuerwehrfrauen und Feuerwehrmännern beim Treppensteigen

Carsten SCHIFFER, Vera B. RICK, Katharina SCHÄFER, Alexander MERTENS, Verena NITSCH

Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen University
Eilfschornsteinstraße 18, D-52062 Aachen

Kurzfassung: Für ihre Arbeit benötigen Feuerwehrfrauen und Feuerwehrmänner Feuerwehrschutzbekleidung, die sie gegen vielfältige und sehr unterschiedliche Gefahren schützt. Dabei soll die Leistungsfähigkeit der Feuerwehrleute möglichst wenig eingeschränkt werden. In einer Sekundärdatenanalyse wurde der Einfluss von Feuerwehrschutzbekleidung auf die Leistung beim Treppenlauf empirisch untersucht. Dabei wurden geschlechtergetrennt Laufzeitdaten aus Treppenläufen verglichen. Die Ergebnisse zeigen einen leistungsreduzierenden Effekt des Tragens von Schutzbekleidung bei beiden Geschlechtern. Bei Feuerwehrfrauen war der Leistungsabfall tendenziell kleiner, wies jedoch eine größere Streuung auf als bei Feuerwehrmännern. Die Ergebnisse zeigen einen Bedarf zur geschlechterdifferenzierten Gestaltung von Feuerwehrschutzbekleidung auf.

Schlüsselwörter: Feuerwehrschutzbekleidung, Leistungsfähigkeit, Geschlechterdifferenzierung, Feuerwehrfrauen, Treppenlauf

1. Einleitung

Die Feuerwehrschutzbekleidung besteht in der Grundform aus einer Feuerwehr(über)jacke, einer Feuerwehr(über)hose, Helm, Stiefeln und Feuerwehrschutzhandschuhen (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) 2018). Diese Ausrüstungsgegenstände sind zwar in verschiedenen Größen am Markt verfügbar, Feuerwehrfrauen berichten jedoch, dass die weiblichen Proportionen bei den in den Feuerwehren verbreiteten Garnituren häufig nicht ausreichend abgebildet werden können (Schiffer et al. 2022).

Viele Feuerwehrfrauen berichten nicht nur, dass ihnen die Feuerwehrschutzbekleidung schlechter passe, auch die subjektive Sicherheit und das Schutzgefühl durch die Feuerwehrschutzbekleidung werden von ihnen als schlechter eingeschätzt als durch Feuerwehrmänner (Krause et al. 2023).

Analysen von Unfallanzeigen der Freiwilligen Feuerwehren haben ergeben, dass Feuerwehrfrauen im Vergleich zu Feuerwehrmännern ein größeres Unfallrisiko haben und die von ihnen erlittenen Unfälle schwerer sind (Schiffer et al. 2024). Diese Beobachtungen sind mutmaßlich ebenfalls auf die für Frauen unzureichende Feuerwehrschutzbekleidung zurückzuführen. Ebenfalls potenziell auf eine für Feuerwehrfrauen schlechtere Passform zurückführbar sind die bei Feuerwehrfrauen zu beobachtenden unterschiedlichen Unfallursachen und Unfallauswirkungen (Schiffer et al. 2024).

Die Ausstattung von Feuerwehrfrauen mit nicht passender Schutzbekleidung und eine hiermit einhergehende Einschränkung der Beweglichkeit kann potenziell zur Reduktion der individuellen Leistungsfähigkeit führen, sodass bei vergleichbarer Belastung im Feuerwehrdienst eine größere Beanspruchung für Frauen resultiert.

In der vorliegenden Studie soll exemplarisch der Leistungsabfall beim eiligen Treppenlaufen durch Tragen von Feuerwehrschutzbekleidung bei Frauen und Männern untersucht werden. Hierfür wurde eine Sekundäranalyse von Daten durchgeführt, die im Rahmen des Kölner Treppenlaufwettbewerbs gesammelt wurden.

2. Untersuchungsgegenstand Kölner Treppenlauf

Treppenläufe sind Laufwettbewerbe, bei denen die Sportler:innen ein Hochhaus oder einen Turm über das Treppenhaus in möglichst kurzer Zeit im Laufschritt besteigen. Bei vielen Treppenläufen nehmen auch Feuerwehrleute teil und treten im Treppensteigen als Erweiterung zum bestehenden Feuerwehrwettkampfsport an.

Betrachtet werden die auf der Website des KölnTurm Treppenlaufs zur Verfügung gestellten Ergebnisse der Wettbewerbe der Jahre 2021 bis 2025 (KölnTurm Treppenlauf 2025). Der Kölner Treppenlauf wird in verschiedenen Wertungsklassen über 135 Höhenmeter bzw. 732 Treppenstufen und 40 Etagen im KölnTurm ausgetragen.

In den Feuerwehrwertungen finden ausschließlich Team-Läufe statt, da die Feuerwehr üblicherweise paarweise als Trupp vorgeht (FwDV 3 2008). Daher werden aus den verschiedenen Wettkampfklassen die Team-Läufe in Zweierteams betrachtet.

Um den Einfluss der Schutzbekleidung auf die Leistungsfähigkeit der Feuerwehrleute bewerten zu können, werden daher die Laufzeiten der Feuerwehr-Teams in Feuerwehrschutzbekleidung ohne Pressluftatemgerät mit den davon getrennt durchgeführten Team-Läufen in Sportbekleidung verglichen. Dabei werden jeweils die Ergebnisse der reinen Frauenteams bzw. der reinen Männerteams in Sportbekleidung bzw. in Feuerwehrschutzbekleidung betrachtet um eine geschlechterdifferenzierte Analyse zu ermöglichen.

Es wird angenommen, dass die Teilnehmer:innen aller Wettkampfklassen ihre Ausdauer regelmäßig trainieren, sodass von einer vergleichbaren Grundlagenausdauer ausgegangen wird.

3. Ergebnisse

Im betrachteten Zeitraum von 2021 bis 2025 haben in Sportbekleidung 31 Frauenteams und 72 Männerteams am Kölner Treppenlauf teilgenommen (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2). 33 Frauenteams und 278 Männerteams haben in Feuerwehrschutzbekleidung teilgenommen. Mit einem Anteil von 10,6 % liegt der Anteil der Frauenteams nahe dem Anteil von Frauen in der Feuerwehr (11,23 % (Deutscher Feuerwehrverband (DFV) 2024)).

Die Daten wurden um insgesamt 24 statistische Ausreißer bereinigt, indem alle Messwerte ausgeschlossen wurden, die mehr als ± 2 Standardabweichungen vom jeweiligen Gruppenmittelwert abwichen.

Tabelle 1: *Übersicht über die Laufzeitergebnisse der Frauen [Sekunden].*

		Sportbekleidung						Feuerwehrschutzbekleidung					
Jahr		**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**Gesamt**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**Gesamt**
Anzahl	**N**	5	4	8	6	8	**29**	5	4	7	7	10	**30**
Minimum	**min**	360	485	412	319	417	**319**	662	612	701	613	737	**612**
Unteres Quartil	$\tilde{\mathbf{x}}_{0,25}$	538	550	461	597	439	**466**	742	726	759	744	876	**748**
Median	$\tilde{\mathbf{x}}$	549	576	517	624	488	**549**	797	772	870	857	1050	**853**
Oberes Quartil	$\tilde{\mathbf{x}}_{0,75}$	578	605	744	711	603	**628**	947	825	1178	1250	1481	**1067**
Maximum	**max**	628	682	1143	869	956	**869**	956	962	2059	1364	2753	**1553**
Arithm. Mittel	$\bar{\mathbf{x}}$	531	580	624	627	567	**557**	821	779	1072	974	1286	**926**
Std.-abweichung	**SD**	102	81	246	183	193	**131**	129	143	481	314	615	**244**

Tabelle 2: *Übersicht über die Laufzeitergebnisse der Männer [Sekunden].*

		Sportbekleidung						Feuerwehrschutzbekleidung					
Jahr		**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**Gesamt**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**	**2025**	**Gesamt**
Anzahl	**N**	10	9	18	17	18	**69**	38	32	59	76	73	**262**
Minimum	**min**	347	279	290	245	373	**245**	352	442	416	420	393	**352**
Unteres Quartil	$\tilde{\mathbf{x}}_{0,25}$	407	396	365	382	428	**392**	554	660	612	637	647	**604**
Median	$\tilde{\mathbf{x}}$	419	516	423	415	467	**432**	685	730	800	757	750	**737**
Oberes Quartil	$\tilde{\mathbf{x}}_{0,75}$	459	538	495	510	634	**506**	965	880	1003	1050	949	**932**
Maximum	**max**	857	601	680	603	1390	**749**	1466	1450	1384	1985	2095	**1335**
Arithm. Mittel	$\bar{\mathbf{x}}$	471	471	441	434	558	**454**	781	792	826	864	836	**782**
Std.-abweichung	**SD**	146	108	107	97	242	**102**	294	258	251	327	313	**224**

Frauen und Männer benötigten in Feuerwehrschutzbekleidung im Durchschnitt signifikant länger als Teams in Sportbekleidung (ungepaarter t-Test, $t(320,366) = 17.204$; $p < .001$), um den Treppenlauf zu absolvieren. Im Vergleich zu den Durchläufen in Sportbekleidung benötigten Frauen im Durchschnitt das 1,66-fache an Zeit (926 s statt 557 s), Männer das 1,72-fache (782 s statt 454 s).

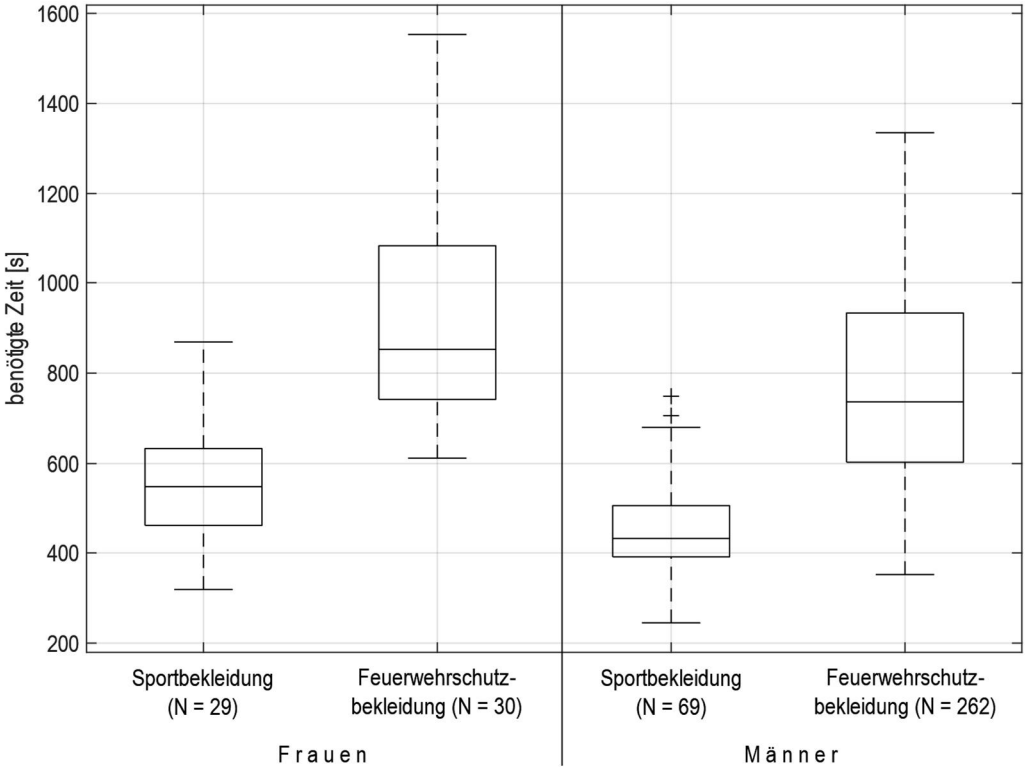


Abbildung 1*: Boxplots zum Vergleich der für das Treppensteigen benötigten Zeit.*

Die Differenz der Mediane zwischen den Durchläufen von Frauen und Männern in Sportbekleidung $\tilde{x}_{Sport,Frauen} - \tilde{x}_{Sport,Männer} = 117\,s$ und in Feuerwehrschutzbekleidung $\tilde{x}_{Feuer,Frauen} - \tilde{x}_{Feuer,Männer} = 116\,s$ sind fast gleich (siehe auch Abbildung 1). Ein Vergleich der Standardabweichungen zeigt jedoch tendenziell eine größere Streuung für die Frauen in Feuerwehrschutzkleidung (244 s) im Vergleich zu den Männern (224 s). Inferenzstatistisch verdeutlicht der Levene-Test, dass eine Varianzhomogenität nicht angenommen werden kann (Levene-Test, $F = 44.278, p < .001$). Trotz der nicht anzunehmenden Varianzhomogenität wird weiterführend eine 2-faktorielle ANOVA durchgeführt, da diese als robust gegen Varianzunterschiede angesehen werden kann (Blanca Mena et al. 2017). Dabei zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt für das Geschlecht ($F(1,386) = 17.203;\ p < .001;\ \eta p^2 = .043$) und die Kleidung ($F(1,386) = 125.797;\ p < .001;\ \eta p^2 = .260$). Jedoch zeigte sich kein signifikanter Interaktionseffekt von Geschlecht und Kleidung ($F(1,386) = .478;\ p < .490$).

4. Diskussion

Die Teilnehmer:innen des Kölner Treppenlaufes benötigen in Feuerwehrschutzbekleidung für die gleiche Aufgabe deutlich länger als die Teilnehmer:innen in Sportbekleidung. Feuerwehrfrauen wie Feuerwehrmänner erfahren durch das Tragen von Feuerwehrschutzbekleidung eine stärkere Belastung. Zunächst scheint diese zusätzliche Belastung für Frauen (1,66-fache Zeit) wie für Männer (1,72-fache Zeit) vergleichbar auszufallen. Die Varianz ist jedoch nicht homogen, bei Frauen zeigt sich eine tendenziell größere Streuung.

Die Streuung einiger anthropometrischer Maße ist bei Frauen größer als bei Männern (Stein et al. 2024; Fischer et al. 2020). Das wiederum deutet darauf hin, dass verschiedene Träger:innen von Feuerwehrschutzbekleidung durch die Feuerwehrschutzbekleidung unterschiedlich stark in ihrer Leistungsfähigkeit gehemmt werden.

Frauen mit einer Anthropometrie, die derer von Männern relativ ähnlich ist, finden möglicherweise deutlich bessere Bedingungen bei der Schutzbekleidung vor als Frauen, deren Körperformen sich stark von männlichen Körperformen unterscheiden.

5. Limitationen

Bei dem in diesem Beitrag untersuchten Treppenlauf handelt es sich um einen Sportwettbewerb; daher sind die Bedingungen und die Aufgaben nicht repräsentativ für das Einsatzgeschehen der Feuerwehr.

Untersucht wurde die über die Durchlaufzeit erfasste Leistungsfähigkeit für die konkrete Tätigkeit des Treppensteigens. Typische Gefahren der Feuerwehr (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) 2024) und damit korrespondierende Schutzmaßnahmen der Einsatzkräfte (Zimmermann 2019) traten nicht auf.

Ganz im Sinne eines Sportwettbewerbes darf davon ausgegeben werden, dass sich die Teilnehmer:innen vollständig verausgabt haben ohne persönliche Kraftreserven zurückzuhalten – vergleichbar zu der den Feuerwehrleuten bekannten Untersuchung auf Atemschutztauglichkeit, bei der ebenfalls Treppensteigen eine der möglichen Belastungsformen ist (Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung 2002).

Die Gruppengrößen unterscheiden sich stark, vor allem die Gruppe der Männer in Feuerwehrschutzbekleidung ist erheblich größer als die anderen Gruppen. Weiterhin wurden nicht Durchläufe von Feuerwehrleuten in Sportbekleidung und in Feuerwehrschutzbekleidung, sondern Durchläufe von Sportler:innen und Feuerwehrleuten miteinander verglichen – Unterschiede in der Vorbereitung der Teilnehmer:innen wurden dabei nicht berücksichtigt.

Neben anthropometrischen Unterschieden zwischen Frauen und Männern können auch andere Faktoren, wie beispielsweise hormonell bedingte interindividuelle Unterschiede in der sportlichen Leistungsfähigkeit (Eliott Sale, K. J. et al. 2023) diese beeinflussen. Diese Effekte können auf Grundlage der vorliegenden Sekundärdaten nicht kontrolliert werden, könnten aber einen Einfluss auf die beobachtete größere Varianz in der Laufleistung der Teilnehmer:innen gehabt haben.

6. Fazit

Abweichend von einer für alle Einsatzkräften einheitlichen Ausstattung mit Arbeitsmitteln kommt es speziell bei der Persönlichen Schutzbekleidung zu einer individuellen und personenbezogenen Auswahl (DGUV 2018).

Am Beispiel des Kölner Treppenlaufs wurde gezeigt, dass das Potential einer an die jeweilige Einsatzkraft angepassten Schutzbekleidung besonders bei Feuerwehrfrauen aber bisher möglicherweise nicht vollständig ausgeschöpft ist: Frauen haben nicht nur einen anderen Körperbau als Männer, die Vielfalt ihrer Körperformen ist auch größer (Stein et al. 2024; Fischer et al. 2020). Die Auswertung legt nahe, dass die größere Varianz der weiblichen Körperformen beim Design der Feuerwehrschutzbekleidung bisher nicht ausreichend berücksichtigt wurde.

In weiteren Untersuchungen sollte betrachtet werden, ob bei der Betrachtung weiterer, mit vergleichbaren Bedingungen stattfindenden Treppenläufen die in diesem Beitrag gemachten Beobachtungen verifiziert und vertieft werden können. Ebenfalls sollte betrachtet werden, welche anthropometrischen Voraussetzungen einen besonders negativen Effekt auf die Leistungsfähigkeit, das Risiko und die Wechselwirkung mit der Feuerwehrschutzbekleidung von Feuerwehrfrauen haben könnten.

7. Literatur

Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung (2002): Feuerwehr-Dienstvorschrift 7 - Atemschutz. FwDV 7,

Blanca, M. J., Alarcón, R., Arnau, J., Bono, R. & Bendayan, R. (2017). Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*, *29*(4), 552–557. https://doi.org/10.7334/psicothema2016.383

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) (2018): Unfallverhütungsvorschrift 49 - Feuerwehr. UVV 49.

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) (2024): Auswahl von persönlicher Schutzausrüstung für Einsätze bei der Feuerwehr. Basierend auf einer Gefährdungsbeurteilung. Berlin (DGUV-Information, DGUV 205-014).

Deutscher Feuerwehrverband (DFV) (2024): Feuerwehr-Jahrbuch 2024: das Feuerwehrwesen in der Bundesrepublik Deutschland / Deutscher Feuerwehrverband e.V. 58. 2024 Zivil-militärische Zusammenarbeit / Redaktion: Silvia Oestreicher. Bonn: Versandhaus des Deutschen Feuerwehrverbandes GmbH.

Elliott Sale, K. J., Flood, T. R., Arent, S. M., Dolan, E., Saunders, B., Hansen, M., Ihalainen, J. K., Mikkonen, R. S., Minahan, C., Thornton, J. S., Ackerman, K. E., Lebrun, C. M., Sale, C., Stellingwerff, T., Swinton, P. A. & Hackney, A. C. (2023). Effect of menstrual cycle and contraceptive pill phase on aspects of exercise physiology and athletic performance in female athletes: protocol for the Feminae international multisite innovative project. *BMJ open sport & exercise medicine*, *9*(4), e001814. DOI: 10.1136/bmjsem-2023-001814.

Fischer, Beate; Sedlmeier, Anja M.; Hartwig, Saskia; Schlett, Christopher L.; Ahrens, Wolfgang; Bamberg, Fabian et al. (2020): Anthropometrische Messungen in der NAKO Gesundheitsstudie – mehr als nur Größe und Gewicht. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 63 (3), S. 290–300. DOI: 10.1007/s00103-020-03096-w.

KölnTurm Treppenlauf (2025): KölnTurm Treppenlauf. Online verfügbar unter https://www.koelner-treppenlauf.de, zuletzt geprüft am 16.12.2025.

Krause, Rahel; Kühn, Justin; Schiffer, Carsten; Gries, Thomas (2023): Girl on Fire – Links between sex, firefighters' clothing, safety, confidence and wear and tear. In: *cdatp* 4 (2), S. 171–186. DOI: 10.25367/cdatp.2023.4.p171-186.

Schiffer, Carsten; Mertens, Alexander; Heesemann, Rahel; Kühn, Justin; Nitsch, Verena (2024): Gleicher Einsatz, ungleiches Risiko. Geschlechtergerechtigkeit, Unfälle und Schutzbekleidung bei den Freiwilligen Feuerwehren. G.2.3. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (GfA) (Hg.): Arbeitswissenschaft in-the-loop. Mensch-Technologie-Integration und ihre Auswirkung auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung. 70. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft.

Stein, Michael J.; Fischer, Beate; Bohmann, Patricia; Ahrens, Wolfgang; Berger, Klaus; Brenner, Hermann et al. (2024): Differences in Anthropometric Measures Based on Sex, Age, and Health Status: Findings From the German National Cohort (NAKO). In: *Deutsches Ärzteblatt International* 121 (7), S. 207–213. DOI: 10.3238/arztebl.m2024.0016.

Zimmermann, Uwe (2019): Gefährdungsbeurteilungen. Vorlagen für Feuerwehr und den Rettungsdienst. Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH. DOI: 10.17433/978-3-17-036599-5.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Der Experimentierraum als arbeitswissenschaftliche Antwort auf die Grenzen klassischer Organisationsentwicklung

Anna HOBERG, Josephine HOFMANN

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation
Nobelstr. 12, D-70569 Stuttgart

Kurzfassung: Experimentierräume werden als arbeitswissenschaftliche Methode zur Gestaltung und Erkenntnisgewinnung unter Unsicherheit und Entwicklungsdynamik vorgestellt. Im Mittelpunkt steht die Frage, wie Gestaltungsentscheidungen in Organisationen systematisch untersucht werden können, wenn (Neben-/)Wirkungen erst im Vollzug sichtbar werden. Anhand des Experimentierraums „Flexible Wissenschaftsarbeit“ werden experimentelle Gestaltung, begleitende Evaluation und organisationsübergreifendes Lernen unter realen Bedingungen beispielhaft veranschaulicht.

Schlüsselwörter: Experimentierraum, Arbeitsgestaltung, experimentelle Organisationsentwicklung, Evaluation, flexible Arbeitsformen, Wissenschaftsarbeit

1. Arbeitsgestaltung in organisationalen Spannungsfeldern

Organisationen stehen zunehmend vor der Aufgabe, Arbeits- und Organisationsstrukturen unter unterschiedlichsten Anforderungen weiterzuentwickeln. Einerseits sollen Produktivität, Verlässlichkeit und Effizienz gesichert werden, andererseits steigen Erwartungen an Flexibilität, Autonomie und Arbeitgeberattraktivität. Hinzu treten externe regulatorische Vorgaben, etwa des Arbeits- und Gesundheitsschutzes, die Gestaltungsspielräume begrenzen und zugleich absichern (Schmidt 2024). Gestaltungsentscheidungen bewegen sich damit häufig in Spannungsfeldern, die sich weder eindeutig auflösen noch durch stabile Zielbilder final befrieden lassen. Zudem zeigt sich, dass flexibilisierte Arbeitssettings ein dauerhaftes Zusammenwirken von Mitarbeitenden und Führungskräften erfordern. Arbeitsgestaltung ist hier keine einmalige Maßnahme sondern ein fortlaufender Bestandteil organisationaler Praxis – als gemeinsame Arbeit an der Organisation.

Diese Spannungen zeigen sich in vielfältigen Gestaltungsfragen der organisationalen Praxis, etwa bei Arbeitszeitmodellen, in Führungslogiken, neuen Formen der Zusammenarbeit über räumliche und organisationale Grenzen sowie an Schnittstellen zwischen Mensch und Technik. Die Wirkungen entsprechender Gestaltungsentscheidungen lassen sich selten verlässlich vorab bestimmen; Effekte entstehen kontextabhängig, zeitversetzt und häufig erst in der praktischen Umsetzung.

Die arbeitswissenschaftliche Gestaltung zielt traditionell darauf ab, Arbeitssysteme auf Grundlage systematischer Analyse so zu gestalten, dass Sicherheit, Gesundheit, Effizienz und Humanität gewährleistet werden. Voraussetzung hierfür sind vergleichsweise stabile Rahmenbedingungen sowie die Möglichkeit, Wirkzusammenhänge analytisch zu erfassen (vgl. Schlick et al. 2018). Diese Voraussetzungen sind in vielen aktuellen Gestaltungsfragen jedoch nur eingeschränkt gegeben.

In der organisationalen Praxis wird mit dieser Unsicherheit häufig pragmatisch um-

gegangen. Gestaltungsentscheidungen erfolgen situativ und adaptiv, teils unter bewusster Abweichung formaler Regelungen, um Handlungsfähigkeit zu sichern. Kühl beschreibt dieses Vorgehen als „brauchbare Illegalität“, die es Organisationen ermöglicht, mit widersprüchlichen Anforderungen umzugehen, ohne sie formal aufzulösen (vgl. Kühl 2020). Solche Praktiken sichern kurzfristig Funktionsfähigkeit, bleiben jedoch meist implizit und entziehen sich systematischer Reflexion.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie Arbeitsgestaltung so organisiert werden kann, dass sie den Umgang mit Unsicherheit nicht nur pragmatisch bewältigt, sondern zugleich Erkenntnisse über Wirkungen, Nebenfolgen und Gelingens-bedingungen erzeugt. Experimentierräume setzen hier an, indem sie iterative, veränderungsintensive und partizipativ gestaltete Arbeitsgestaltung selbst zum Gegenstand arbeitswissenschaftlicher Erkenntnis machen und Gestaltungs- und Lernprozesse unter realen Bedingungen systematisch miteinander verbinden.

2. Experimentierräume als arbeitswissenschaftliche Methode

Experimentierräume werden in diesem Beitrag nicht als eigenständige theoretische Schule verstanden, sondern als arbeitswissenschaftliche Ausprägung bestehender experimenteller und designorientierter Gestaltungsansätze. Funktional verwandte Logiken finden sich u. a. in Reallaboren, Design-Based Research, Action Research oder regulatorischen Sandboxes. Gemeinsam ist diesen Ansätzen, Gestaltung unter realen Bedingungen zu erproben, die Mitarbeitenden und Führungskräfte bei deren Gestaltung stark einzubeziehen, und Erkenntnisse durch Praxis zu gewinnen. Eine systematische arbeitswissenschaftliche Einordnung dieser Logik für Fragen der Arbeitsgestaltung und Organisationsentwicklung steht bislang jedoch weitgehend aus.

Abbildung 1 ordnet klassische Arbeitsgestaltung, Organisationsentwicklung und die Methode des Experimentierraums jeweils einer spezifischen Gestaltungslogik zu. Klassische arbeitswissenschaftliche Arbeitsgestaltung folgt primär einer analytisch-planenden Logik und zielt darauf ab, Arbeitssysteme nach der Analyse sicher, gesund, effizient und human zu gestalten. Dieses Vorgehen setzt vergleichsweise stabile Rahmenbedingungen sowie eine vorhersagbare Beziehung zwischen Gestaltungs-maßnahme und Wirkung voraus (Schlick et al. 2018). Für viele aktuelle Gestaltungs-fragen sind diese Voraussetzungen nur eingeschränkt gegeben; Wirkungen entstehen häufig kontextabhängig, nichtlinear und zeitversetzt (vgl. Hirsch-Kreinsen 2016).

Organisationsentwicklerische Ansätze adressieren diese Dynamik, indem sie Veränderung als prozessualen, beteiligungsorientierten und lernoffenen Vorgang verstehen. Ihre prozessual-interventionistische Logik ermöglicht Anpassung unter dynamischen Bedingungen, während Wirkungen und Nebenfolgen von Interventionen meist implizit bleiben. Argyris und Schön (1978) zeigen, dass organisationale Lernprozesse vielfach auf Anpassungen innerhalb bestehender Handlungslogiken beschränkt bleiben (Single-Loop-Learning), während eine systematische Reflexion dieser Logiken selbst (Double-Loop-Learning) selten explizit gestaltet wird.

Ansätze experimenteller Organisationsentwicklung greifen diese Begrenzungen auf. Kozica und Schaller (2021) beschreiben experimentelles Arbeiten als hypothesengeleiteten Veränderungsmodus, der zeitlich begrenzte Interventionen mit strukturierten Beobachtungs- und Reflexionsschleifen mit den Mitarbeitenden, die von dieser Organisationsveränderung betroffen sind, verbindet. Sie ergänzen bestehen Ansätze durch partizipative Gestaltungs- und Entscheidungselemente und die grundsätzliche Akzeptanz von Prozessoffenheit.

Abbildung 1: *Gestaltungslogiken arbeitswissenschaftlicher Ansätze, eigene Darstellung.*

Die Methode der Experimentierräume knüpft an diese Logik an und überträgt sie auf arbeitswissenschaftliche Gestaltungsfragen. Wie in Abbildung 1 dargestellt, folgt er einer experimentell-erkenntnisorientierten Gestaltungslogik. Charakteristisch ist ein zeitlich begrenzter, regelgeleiteter Gestaltungsrahmen, in dem Abweichungen von bestehenden Regelungen nicht informell erfolgen, sondern gemeinsam diskutiert und entwickelt, bewusst ermöglicht, dokumentiert und reflektiert werden. Partizipative, ergebnis- und prozessoffene Arbeitsgestaltung wird so selbst zum Gegenstand systematischer Erkenntnis unter realen organisationalen und regulatorischen Bedingungen.

3. Experimentelle Arbeitsgestaltung in der Praxis: der Experimentierraum „Flexible Wissenschaftsarbeit“

Der Experimentierraum „Flexible Wissenschaftsarbeit“ (Fraunhofer IAO 2025) ist ein Verbundprojekt der Fraunhofer-Gesellschaft und der Leibniz-Gemeinschaft. Ziel ist es, arbeitswissenschaftlich relevante Gestaltungsfragen flexibler Wissenschaftsarbeit unter realen organisatorischen und regulatorischen Bedingungen zu erproben und systematisch auszuwerten. Der Experimentierraum umfasst zehn Institute beider Wissenschaftsorganisationen und ist bewusst organisationsübergreifend angelegt. Dieses Projektdesign dient dazu, unterschiedliche organisationale Kontexte vergleichend zu berücksichtigen und institutsübergreifende Lern- und Transferprozesse zu ermöglichen. Die beteiligten Institute wählen jeweils eigenständig flexible Erprobungsformen, etwa zum Umgang mit Arbeitszeiterfassung bei Vertrauensarbeitszeit, Workation oder unterjährige Sabbaticals. Gemeinsame methodische Leitplanken stellen sicher, dass die Vielfalt der Experimente systematisch dokumentiert, reflektiert und ausgewertet werden kann.

Inhaltlich adressiert der Experimentierraum zentrale Spannungsfelder flexibler Wissenschaftsarbeit, insbesondere im Verhältnis von Autonomie und Arbeitsschutz, individueller Gestaltungsfreiheit und kollektiver Regelung sowie organisationaler Leistungsfähigkeit und regulatorischen Vorgaben. Die Ausgestaltung des Experimentierraums baut auf einer Machbarkeitsstudie auf, in der im Jahr 2023 bereits rechtliche, organisationale und kulturelle Rahmenbedingungen analysiert wurden (Hoberg, Hof-

mann 2024). Diese diente der Identifikation von Gestaltungsbedarfen, die in den Experimenten gezielt aufgegriffen werden.

Der Experimentierraum verfolgt einen zweiphasigen Ansatz. In einer ersten Phase (Jan-Dez 2025) werden Formen flexibler Wissenschaftsarbeit erprobt, die innerhalb des bestehenden arbeitsrechtlichen bzw. arbeitszeitgesetzlichen Rahmens realisierbar sind, allerdings innerhalb der Organisationen veränderte bzw. erweiterte Verwaltungs- oder Teamprozesse induzieren, um Flexibilität zu erhöhen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollen in einer zweiten Phase genutzt werden, in der regulative und gesetzliche Vorgaben konditioniert Außer-Kraft gesetzt werden, um fundiert zu bewerten, wie flexible Wissenschaftsarbeit perspektivisch weiterentwickelt werden kann. Hier geht es beispielsweise um die Erweiterung möglicher Arbeitszeiten pro Tag oder verkürzte Ruhezeiten.

Die Rolle eines projektbegleitenden Forschungsteams besteht darin, den notwendigen Aktivitätsrahmen zu gestalten, methodisch zu sichern und Reflexionsprozesse zu moderieren sowie Gestaltungshinweise abzuleiten. Es werden keine institutsindividuellen Lösungen vorgegeben, sondern Prinzipien, Formate und Handlungshilfen wie z.B. Vorlagen zu Betriebsvereinbarungen bereitgestellt, die das Experimentieren unter realen Bedingungen unterstützen und übergreifend vergleichbar gestalten. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass die Vielfalt der Experimente nicht zu Beliebigkeit führt, sondern systematisch ausgewertet und miteinander in Beziehung gesetzt werden kann.

4. Evaluation u. Lernen im Experimentierraum „Flexible Wissenschaftsarbeit“

Die Evaluations- und Lernlogik im Experimentierraum „Flexible Wissenschaftsarbeit“ ist darauf ausgerichtet, Gestaltungsprozesse unter realen Bedingungen nicht nur zu begleiten, sondern selbst zum Gegenstand systematischer Reflexion und Erkenntnis zu machen. Dabei war von Beginn an zu berücksichtigen, dass die Zahl der direkt betroffenen und evaluierbaren Personen begrenzt ist und die Erprobungen vielfältigen externen Einflussfaktoren unterliegen, die sich einer isolierten Betrachtung entziehen. Klassische Vorher-Nachher-Vergleiche oder einmalige Erhebungen erscheinen unter diesen Bedingungen nur eingeschränkt geeignet, da Gestaltungsmaßnahmen kontextspezifisch wirken und nicht unabhängig von parallelen organisationalen und externen Entwicklungen betrachtet werden können (vgl. Shadish et al. 2002).

Vor diesem Hintergrund wurde für diesen Experimentierraum ein Evaluationsdesign gewählt, das Vergleichbarkeit ermöglicht, ohne die Komplexität realer Arbeitssysteme zu reduzieren. Ein zentrales Element bildet dabei ein Multiple-Baseline-Design, bei dem Interventionen zeitlich gestaffelt eingeführt und wiederholt beobachtet werden können. Dieses Vorgehen ist insbesondere für feldnahe, interventionelle Settings mit begrenzten Fallzahlen geeignet und stellt eine etablierte Variante von Single-Case Experimental Designs dar (Kazdin 2011). Veränderungen lassen sich so innerhalb einzelner Kontexte nachvollziehen und zugleich über mehrere Erprobungsfelder hinweg in Beziehung setzen.

Quantitative Erhebungen werden durch qualitative Formate ergänzt, um nicht nur Effekte, sondern auch Wirkmechanismen, Nebenfolgen und subjektive Deutungen der Beteiligten sichtbar zu machen. Evaluation ist dabei nicht als externer Bewertungsakt konzipiert, sondern als integraler Bestandteil des Gestaltungsprozesses. Regelmäßige Reflexionsformate ermöglichen es Projektleitungen und Teams, eigene Annahmen zu

überprüfen, Beobachtungen einzuordnen und Gestaltungsentscheidungen iterativ anzupassen. Dieses Vorgehen folgt einer entwicklungsorientierten Evaluationslogik, die Evaluation explizit als lernförderlichen Bestandteil komplexer Veränderungsprozesse versteht (Patton 2011).

Durch die Verbindung von experimenteller Struktur, empirischer Beobachtung und gemeinsamer Reflexion entstehen Lernprozesse auf mehreren Ebenen. Institute gewinnen ein vertieftes Verständnis der Wirkungen ihrer Gestaltungsentscheidungen im eigenen Kontext, während auf übergreifender Ebene vergleichbare Erkenntnisse zu Gelingensbedingungen und Spannungsfeldern flexibler Arbeitsgestaltung generiert werden. Der hier gewählte Evaluationsansatz versteht sich dabei nicht als allgemeingültige Blaupause für Experimentierräume, sondern als kontextange-messene Lösung innerhalb des spezifischen Rahmens des vorliegenden Projekts.

5. Erkenntnisse, Grenzen und Anwendungsfelder von Experimentierräumen

Experimentierräume lohnen sich nicht für beliebige Organisations- oder Arbeits-gestaltungsfragen. Ihr Einsatz ist dort sinnvoll, wo partizipative, ergebnis- und prozessoffene Gestaltungsbereiche eine dauerhafte Mitwirkung und Weiterentwicklung der betroffenen Beschäftigten erfordern und mit teamübergreifenden Aushandlungs-prozessen sowie veränderten Führungsanforderungen verbunden sind. Solche Problemstellungen sind durch widersprüchliche Zielsetzungen, kontextabhängige Effekte und fehlende eindeutige Lösungskriterien gekennzeichnet und lassen sich im Sinne von Rittel und Webber (1973) als „wicked problems“ beschreiben.

Für diese Problemtypen bieten Experimentierräume die Möglichkeit, Gestaltungsannahmen unter realen Bedingungen partizipativ zu gestalten, zu erproben und systematisch zu reflektieren. Bewertung und Sinnzuschreibung erfolgen dabei häufig erst retrospektiv. Weicks (1995) Konzept des Sensemaking verdeutlicht, dass Bedeutung in Organisationen nicht primär aus Planung entsteht, sondern aus der nachträglichen Interpretation von Handeln. Experimentierräume tragen dieser Logik Rechnung, indem sie Reflexions- und Lernschleifen explizit institutionalisieren.

Experimentierräume sind von Gestaltungsaufgaben abzugrenzen, die technisch eindeutig lösbar, normativ geregelt oder primär implementierungsorientiert sind. Für diese Fragestellungen sind klassische arbeitswissenschaftliche Ansätze angemessener; Experimentierräume ersetzen weder Regulierung noch organisationale Entscheidungsprozesse. Im Zusammenspiel mit Regulierung und Politik kommt Experimentierräumen eine spezifische Rolle zu. Sie fungieren nicht als Vorstufe von Gesetzgebung, sondern als epistemische Vorfelder, in denen erfahrungsbasiertes Gestaltungswissen entsteht, das politische Abwägungsprozesse strukturieren kann, ohne normative Entscheidungen vorwegzunehmen.

6. Gestaltung, Erkenntnis und Regulierung zusammendenken

Der Beitrag zeigt, dass Experimentierräume als arbeitswissenschaftliche Methode geeignet sind, Gestaltung und Erkenntnisgewinn systematisch miteinander zu verbinden. Sie ergänzen klassische Gestaltungs- und Organisations-entwicklungsansätze dort, wo Wirkungen erst im Vollzug organisationaler Praxis sichtbar werden und Erfahrungswissen eine zentrale Rolle spielt. Am Beispiel flexibler Wissenschaftsarbeit wurde deutlich, wie Experimentierräume als strukturierte Lern- und Erkenntnisformate

ausgestaltet werden können.

Über den dargestellten Anwendungsfall hinaus sind Experimentierräume für weitere arbeitsbezogene Gestaltungsfelder relevant, insbesondere an der Schnittstelle von Organisation, Regulierung und Politik. Ihr Beitrag liegt nicht in der Ableitung unmittelbarer Handlungsvorgaben, sondern in der Bereitstellung erfahrungsbasierter Entscheidungsgrundlagen. Zukünftige Forschung sollte sich insbesondere mit der institutionellen Einbettung von Experimentierräumen, ihrer langfristigen Wirkung sowie ihrer Rolle im Zusammenspiel mit politischen Gestaltungsprozessen befassen.

7. Literatur

Argyris C, Schön DA (1978) Organizational Learning: A Theory of Action Perspective. Reading: Addison-Wesley.

Fraunhofer IAO (2025) Experimentierraum Flexible Wissenschaftsarbeit. Online verfügbar unter: https://www.iao.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsbereiche/organisationsentwicklung-und-arbeitsgestaltung/experimentierraum-flexible-wissenschaftsarbeit.html (Zugriff: 09.01.2026).

Hirsch-Kreinsen H (2016) Digitale Transformation von Arbeit – Entwicklungstrends und Gestaltungsansätze. Berlin: Springer.

Hoberg A, Hofmann J, Schmidt C (2024) Machbarkeitsstudie Experimentierraum Flexible Wissenschaftsarbeit. Online verfügbar unter: https://leibniz-worknew.de/experimentierraum-flexible-wissenschaftsarbeit/ (Zugriff: 05.01.2026).

Kazdin AE (2011) Single-Case Research Designs: Methods for Clinical and Applied Settings. 2nd ed. New York: Oxford University Press.

Kozica A, Schaller P (2021) Experimentelle Organisationsentwicklung – Perspektiven eines zukunftsfähigen Veränderungsansatzes. Zeitschrift für OrganisationsEntwicklung 40(4):42–47.

Kühl S (2020) Brauchbare Illegalität. Vom Nutzen des Regelbruchs in Organisationen. Frankfurt a.M.: Campus.

Patton MQ (2011) Developmental Evaluation: Applying Complexity Concepts to Enhance Innovation and Use. New York: Guilford Press.

Rittel HWJ, Webber MM (1973) Dilemmas in a General Theory of Planning. Policy Sciences 4:155–169.

Schlick C, Bruder R, Luczak H (2018) Arbeitswissenschaft. 4. Aufl. Berlin: Springer.

Schmidt C, Hoberg A, Wienken V (2024) Örtliche und zeitliche Flexibilisierung in außeruniversitären Forschungseinrichtungen: Anforderungen und Barrieren für eine zukunftsfähige Arbeitsgestaltung. In: GfA – Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Arbeitswissenschaft in-the-loop: Mensch-Technologie-Integration und ihre Auswirkung auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung. Frühjahrskongress 2024, Stuttgart, Beitrag H.1.3. GfA, Sankt Augustin.

Shadish WR, Cook TD, Campbell DT (2002) Experimental and Quasi-Experimental Designs for Generalized Causal Inference. Boston: Houghton Mifflin.

Weick KE (1995) Sensemaking in Organizations. Thousand Oaks: Sage.

Danksagung: Die Autorinnen danken der Fraunhofer-Gesellschaft und der Leibniz-Gemeinschaft für die Ermöglichung des Experimentierraums Flexible Wissenschaftsarbeit sowie für die Bereitschaft, Arbeitsbedingungen in der Wissenschaft systematisch weiterzuentwickeln. Ein besonderer Dank gilt zudem den zehn beteiligten Instituten, die sich mit hoher Offenheit und Engagement an der aktiven Erprobung, Reflexion und Weiterentwicklung flexibler Formen wissenschaftlicher Arbeit beteiligen.

Partizipationslandkarte – Systematisierung von Anlässen organisationaler Gestaltung

Sibylle OLBERT-BOCK[1], Michael BAU[2], Andrea ALTEPOST[2], Adjan HANSEN-AMPAH[2]

[1] Institut für Personalmanagement und Organisation (PMO)
Fachhochschule Nordwestschweiz
Riggenbachstrasse 16, CH-4600 Olten
[2] ILAG Institut Leistung Arbeit Gesundheit
Hipperstr. 5, D-24306 Plön

Kurzfassung: Partizipation ist ein wichtiges Gestaltungsprinzip von Organisation, Führung, Change und Innovation. In der wissenschaftlichen und praktischen Diskussion besteht ein ausgesprochen vielfältiges Verständnis, was u.a. den Partizipationsanlass, Beteiligungsformen und -arten, ihren Grad an Partizipation und Formalisierung, Freiwilligkeit, die soziale Reichweite und zeitliche Aspekte betrifft. Diese Unklarheit erschwert eine ziel- und voraussetzungsorientierte Gestaltung und die Bewertung ihres tatsächlichen Nutzens. Die Autor:innen stellen ihr Konzept der „Partizipationslandkarte“ als Analyse- und Gestaltungsinstrumentarium vor. Ein ergänzendes Cockpit ermöglicht die Bewertung der unmittelbaren Zielerreichung und von weiterführenden Ergebnissen.

Schlüsselwörter: Partizipation, Innovation, Arbeitsgestaltung, Organisation, Führung, Change

1. Einleitung

Wozu eine Partizipationslandkarte, welcher Mehrwert entsteht durch die Systematisierung zugrunde liegender Anlässe, Ziele und Gestaltungsmerkmale von Veränderungen in Unternehmen? Partizipation ist ein wichtiges Gestaltungsprinzip von Organisation, Führung, Change und Innovation. Sie ermöglicht angesichts von Hierarchien den weniger mächtigen Personen Einflussnahme, Teilhabe und Gestaltung. In Unternehmen trägt sie u.a. dazu bei, die Potenziale von Mitarbeitenden zu nutzen, akzeptierte und langfristig tragfähige Entscheidungen zu fällen und Lösungen zu entwickeln. Sie gilt nicht nur als wesentliches Element der Humanisierung von Arbeit, sondern auch als ein zentraler Pfeiler der Demokratie, zu dem Beteiligungserfahrung und -fähigkeit in Unternehmen beiträgt (Honneth, 2023). Im Unternehmenskontext wird Mitarbeitendenbeteiligung neben rechtlichen Aspekten normativ sowie unter funktionaler Perspektive betrachtet. Erstmals wurde sie als Element der Geschäftsstrategie in den späten 1920er und früheren 1930er hervorgehoben (Cabrera et al., 2003). Gerade aktuelle technische Innovationen fordern die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Technik heraus. Der Einbezug von Mitarbeitenden als Gestaltungsmerkmal des technischen und organisationalen Wandels sollte damit im Fokus stehen, wird aber nur vereinzelt, verkürzt und vielfach vereinseitigt vorgesehen (Huchler, 2019, S. 171). Bewährte Fachexpertise, wie z.B. jene aus betrieblichen Teilfunktionen des HR, bleibt “aussen vor” (Vassilopoulou et al., 2024). Angesichts von AI, einer Wiedererstarkung

der Great Man Theory und antidemokratischen Entwicklungen scheint es wichtig, Partizipation als einem bedeutenden kulturellen, wettbewerbsrelevanten Merkmal mitteleuropäischer Wirtschaft und Gesellschaft bewusst Aufmerksamkeit zu Teil werden zu lassen. Es scheint notwendig, Beteiligung funktional zu legitimieren, indem ihre (langfristigen) Erfolge bewusst der unmittelbaren Wirkung eines „Recht des Stärkeren“ und „Macht des Faktischen“ gegenübergestellt werden, und sie systematisch als Gestaltungskriterium nutzbar zu machen. Dies betrifft insbesondere auch Ziele und Nutzen von Partizipation. So merkt z.B. Huchler (2019, S. 171) an, dass die Forderung, der Mensch solle im Mittelpunkt der Arbeit stehen, in der Regel normativ gesetzt statt begründet wird. Darauf zurückgehender Einsatz von Partizipation bleibt damit oft unreflektiert, willkürlichen Veränderungen des normativen Settings ausgeliefert und wenig zielorientiert. Gegenstand unseres Beitrages sind Situationen des partizipativen Managements (Führung, Organisationsgestaltung, Change, Innovation), mit einer Konzentration auf Leitungs- bzw. hierarchische Partizipation. Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass Mitarbeitende ohne formale Übertragung von Verantwortung an Entscheidungen teilhaben. Formen organisationaler Gestaltung, die mit der Übertragung von Verantwortung an Mitarbeitende einhergehen (wie z.B. Empowerment oder agile Organisationsformen), entsprechen nicht diesem Verständnis.

2. Konzeptuelle Grundlagen

In der wissenschaftlichen und praktischen Diskussion wird Partizipation in einer Vielzahl von Anlässen empfohlen. Worauf sie sich bezieht, was das Partizipationsverständnis ist und welche Zielsetzungen insgesamt verfolgt werden, erfährt selten Konkretisierung. Ebenso besteht ein ausgesprochen vielfältiges Verständnis im Hinblick auf Beteiligungsformen und -arten. Empfehlungen, wie Partizipation gestaltet werden soll, verbleiben oft allgemeiner Art und folgen wenig standardisierten Verfahren. Das Zugestehen von Handlungsspielräumen entspricht oft mehr einer „Kunst“ als einer an Zielsetzungen und Voraussetzungen orientierten Vorgehensweise. Die Formulierung von Aussagen über eine geeignete Gestaltung von Partizipation könnte von einer stärkeren Klarheit und Systematisierung profitieren. Es wird daher ein systematisches Analyse- und Gestaltungsinstrument entlang von Merkmalen und Zielgrößen entwickelt, dessen Basis die im Folgenden dargestellten konzeptuellen Grundlagen bilden.

2.1 Begriff und Merkmale von Partizipation

„Partizipation umfasst alle Formen der Einflussnahme auf die Ausgestaltung kollektiv verbindlicher Vereinbarungen durch Personen und Organisationen, die nicht routinemäßig mit diesen Aufgaben betraut sind“ (Renn, 2005, S. 1). Um Partizipation näher zu charakterisieren, werden unterschiedliche Merkmale aufgegriffen (Cabrera et al., 2003; Hucker, 2008; Ogolla et al., 2020) .Diese betreffen 1. die Reichweite des Einbezugs von Mitarbeitenden:

- *Betroffenheit* unterscheidet, ob Betroffene unmittelbar oder mittelbar von einer Änderung tangiert sind (Hansen-Ampah et al., 2025).
- *Formalisierung* bezieht sich darauf, inwiefern eine offizielle Regelung bzw. eine Verpflichtung zu Beteiligung besteht.
- *Direkte oder indirekte Partizipation* beschreibt, ob Beteiligung durch betroffene Personen selbst oder über Mittelspersonen wahrgenommen wird.

Weitere Merkmale beschreiben 2. den zugestandenen Handlungsspielraum:

- Der *Partizipationsgrad* bzw. das Ausmaß der gewährten Einflussnahme wird oft in Stufen von Anweisung bis hin zu umfassender Entscheidungsmacht dargestellt (Wright, 2010). Der vorliegende Beitrag greift zurück auf ein Modell von Olbert-Bock (2002) mit den Stufen Information, Beteiligung an Kommunikationsveranstaltungen, anteilige Mitgestaltung und Verantwortungsübernahme, die konkret an betrieblichen Partizipationsopportunitäten orientiert sind und eine hinreichende und handhabbare Differenzierung für diesen Kontext anbieten.
- Die zeitliche Dimension bzw. *Chronologie* berücksichtigt, dass Partizipation in unterschiedlichen Phasen organisationaler Steuerung stattfinden kann, von i.d.R. einer Phase der Ideenentwicklung mit Analyse und Zieldefinition, der Umsetzungsplanung und Test-Durchführung sowie der Verbreitung und umfassenden Nutzung (Hansen-Ampah, 2022). Im Forschungsprojekt ERTRAG (s. Abschnitt 4) wird ein Phasenmodell erprobt, das die Phasen 0: Use-Case-Prüfung, 1: Ist-Analyse, 2: Partizipative Zieldefinition/Bedarfsermittlung, 3: Partizipative Entwicklung sowie 4: Gesamtevaluation und Handlungsempfehlungen umfasst.

Der Partizipationsanlass selbst liefert 3. weitere Differenzierungsmerkmale:

- Die *Partizipationsebene* nimmt Bezug auf die Managementebene als Änderungen auf strategischer- bzw. Makroebene, mittlerer Gestaltungs- bzw. Mesoebene sowie operationaler- bzw. Mikroebene.
- Dabei kann es sein, dass die Organisation insgesamt oder nur einzelne Teilbereiche angesprochen werden, was als *Partizipationsreichweite* bezeichnet ist.
- Der *Partizipationsinhalt* fragt, worauf Einfluss genommen werden soll, z. B. strukturierbar in Menschen, Technik und Organisation im Zuge einer Technikinnovation.

Weitere Aspekte der systematischen Planung und Umsetzung partizipativer Vorgehensweisen, die im Beitrag nicht berücksichtigt werden, sind

- Organisatorische Voraussetzungen der Partizipation, z. B. Partizipationskompetenz,
- Partizipationsmethoden und
- Partizipationsevaluation.

2.2 Ziele betrieblicher Partizipation

Hucker (2008) fasst die zahlreichen, über die Zeit veränderten Ziele der betrieblichen Partizipation in drei nicht überschneidungsfreie Stränge zusammen: Betriebswirtschaftliche Zielsetzungen, humanistische Zielsetzungen (Humanisierung des Arbeitslebens), demokratietheoretische Zielsetzungen. Bei den **ökonomischen Zielen** geht es u.a. um die Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen, z.B. indem die Effizienz und Produktivität erhöht, oder (Transaktions-)Kosten reduziert werden. Unter den **humanistischen Zielen** von Partizipation sind diejenigen zu verstehen, die „zu einer menschengerechteren und -würdigeren Gestaltung der Arbeitsverhältnisse [beitragen], indem sie dem menschlichen Bedürfnis nach Selbstentfaltung Rechnung [tragen] und einer Entfremdung von der Arbeit [entgegenwirken]“ (Hucker, 2008, S. 67). Als **demokratietheoretische Zielsetzungen** versteht Hucker den Versuch, „einen grundlegenden Widerspruch moderner, freiheitlich-demokratischer Gesellschaften aufzulösen“ (Hucker, 2008, S. 73): Zwar sollen Menschen nach demokratischen Grundprinzipien wie Gleichheit und Freiheit leben, allerdings erstrecken sich diese Prinzipien zumeist nicht auf das Arbeitsleben. Da humanistische und betriebswirtschaftliche Zielsetzungen nicht immer trennscharf zu differenzieren sind, führen wir die

Zielkategorie ihrer Schnittstellen ein: **Auf Wechselwirkung bezogene Ziele.** Ein Beispiel dafür bietet sich häufig dann, wenn etwa mittels der Steigerung von Motivation und Arbeitszufriedenheit klassische ökonomische Kosten-Ziele erreicht werden sollen. Problematisch kann diese Wechselwirkung allerdings werden, wenn zur Erreichung etwa eines ökonomischen Ziels (Arbeitssystem kostenreduziert gestalten) durch reine Technikinnovationen (z.B. Digitalisierungsprozesse) der Anteil des menschlichen Arbeitshandelns an der Zielerreichung ausgeblendet wird. Eine humanorientierte Arbeitsgestaltung kann die Flexibilität des Arbeitssystems deutlich erhöhen, indem eine wechselseitige Kooperation zwischen Mensch, Technik und Organisation für eine optimale Adaptivität des Arbeitssystems sorgt (vgl. Huchler, 2019, S. 166ff.). Hierzu empfiehlt sich eine Analyse mittels erweiterter Wirtschaftlichkeitsrechnung (Ney, 2006).

3. Partizipationslandkarte

Um systematische Planung (und Entwicklung) von Partizipation zu fördern, soll ein Analyse- und Gestaltungsinstrumentarium entwickelt und erprobt werden. Dies soll Organisationen darin unterstützen,

- bestehende und neue Vorhaben von Organisation, Führung, Change und Innovation, zu denen Partizipation einen Beitrag leistet, zu erkennen und zu kategorisieren,
- auf Partizipation bezogen Ziele zu formulieren bzw. Zielerreichung zu überprüfen,
- bestehende Voraussetzungen und Möglichkeiten für Partizipation zu definieren und zu fördern,
- einen Überblick über Stärken und Schwächen des eigenen Ansatzes zu gewinnen,
- Partizipation unter Nutzung von zur Verfügung gestellten Vorgehensweisen zu gestalten,
- das Bewusstsein für kurz- und langfristige organisationale und gesellschaftliche (Folge-) Wirkungen zu fördern, was gerade angesichts eingangs erwähnter neuer Herausforderungen besondere Bedeutung erfährt.

In dem ersten, hier vorgestellten, Schritt wird eine „Landkarte“ erstellt, die eine Systematisierung von Partizipationsanlässen sowie die Verortung eigener oder geplanter Vorhaben zulässt. Ein solcher Überblick ermöglicht grundlegend einen quantifizierbaren Einblick in das Ausmaß, in dem Partizipation stattfindet und mit welchen Zielsetzungen sie verbunden wird. Dies kann als Basis für fallvergleichende Betrachtung dienen. Ein zunehmend differenzierter Einblick in die zielorientierte Gestaltung kann eine Grundlage für eine differenziertere Formulierung von Gestaltungsempfehlungen des technologischen Wandels sein. Ein ergänzendes Cockpit würde Unternehmen befähigen, im Sinne einer erweiterten Wirtschaftlichkeitsrechnung (Ney, 2006) den eigenen Zielkanon über unmittelbare Zielsetzungen und Bewertungsformen hinausgehend zu erweitern (z.B. nachhaltigkeitsbezogene und kulturelle Entwicklungsziele, outcome- und impactorientierte Bewertung). Die anvisierte, zunächst zweidimensionale Systematisierung von Partizipationsarten und -zielen in einer „Landkarte“ sollte anschlussfähig an weitere Kategorien des Einsatzes von Partizipation sein, wie etwa Rahmenbedingungen (z. B. Unternehmensgröße und -form, Digitalisierungsgrad, Belegschaftsstruktur) und Evaluation (Passung zur Unternehmenskultur, breite Akzeptanz des Prozesses in der Organisation, Qualität des Ergebnisses) des partizipativen Prozesses und seiner Ergebnisse.

Das Schema für die anvisierte Partizipationslandkarte zeigt exemplarisch Tabelle 1.

Tabelle 1: *Partizipationslandkarte: Exemplarisches Schema.*

Partizipations-anlass	Partizipationsmerkmale	Initiale wirtschaftliche Ziele	humanistische / demokratie-theoretische Ziele	Auf Wechselwirkungen bezogene Ziele
Technik-Innovation Case: xy	Reichweite des Einbezugs • Betroffenheit • Direkte vs. indirekte P. • Formalisierungsgrad Handlungsspielraum • P.-Grad • P.-Chronologie Partizipationsanlass • P.-Ebene • P.- Inhalt …	Effizienz im Performance-Prozess steigern, z. B. AI im Prozess der Leistungsbewertung einsetzen; funktionierende Hierarchien	mehr Fairness in der Bewertung	bessere Personalbindung / Retention / „Akzeptanz“

4. Beispiel: Das Forschungsprojekt ERTRAG

In einem ersten Schritt wurden vier Projekte systematisiert. Ein Beispiel ist das Projekt ERTRAG (2025-2027). Hier werden Arbeitsumgebungen im Gesundheitswesen virtuell nachgebildet, um hochwertige räumliche XR-Interaktionsmöglichkeiten für Forschung und Entwicklung, Vertrieb und Schulung von bzw. mit Medizinprodukten zu schaffen. Die Partizipation in ERTRAG ist nicht formalisiert. Vorab wurden die Mitarbeitendenvertretungen jedoch formal involviert. In ERTRAG kommen auf Grund der Interessen beider Anwendungspartner – ein Hersteller von Medizinprodukten und eine Universitätsklinik – verschiedenste Szenarien in Entwicklung, Vertrieb, Ausbildung oder auch im klinisch-operativen Rahmen in Betracht. Für die Nutzendengruppe Operationstechnische Assistent:innen (OTAs) war eine Repräsentantin in einem partizipativen Brainstorming an der Identifikation möglicher Anwendungsszenarien beteiligt, mithin in Phasenmodell-Phase 0. Damit tangiert die Partizipation die strategische Makro-Ebene. 32 von rund 40 OTAs konnten in die Belastungs- und Ressourcenanalyse einbezogen werden; zwei von ihnen arbeiten derzeit an der Anforderungsanalyse für ein neues Arbeitssystem mit. Kollaborative Formate direkter Beteiligung zur Zielfindung und Anforderungsermittlung für die Arbeitssystemgestaltung in allen drei Reichweiten-Bereichen – Mensch, Technik und Organisation – gehen dem Bau erster technischer Prototypen voraus, an die sich die iterative Testung, Optimierung und Evaluation im Reallabor-Modus anschließen wird. Die beteiligten Mitarbeitenden wurden mittels Infomaterialien vorbereitet; die Repräsentantinnen in den kollaborativen Formaten konnten bereits in der Belastungs- und Ressourcenanalyse Partizipationserfahrung im Projekt sammeln. Das Zielportfolio weist wirtschaftliche Ziele (Weiterführung der internationalen Vertriebs- und Entwicklungsaktivitäten des Herstellers unter Reduktion der Reisetätigkeit) ebenso auf, wie Wechselwirkungsziele in Form der Entlastung von Mitarbeitenden, besserer Qualifizierung durch zusätzliche Weiterbildungsangebote mittels XR, besserer Patient:innenversorgung und gesünderen Arbeitsbedingungen.

5. Ausblick

Eine zunehmende Systematisierung von Fällen erlaubt einen umfassenderen Einblick, wie Partizipation tatsächlich gestaltet wird, welche Zielgrößen im Vordergrund

stehen, wovon seltener Gebrauch gemacht wird, bzw. welche Zielsetzungen eine eher untergeordnete Rolle spielen sowie in regelmäßige Kombinationen in der Gestaltung und Zielsetzung.

Dies ist eine Voraussetzung, um Fragen der Effektivität und Effizienz aufzugreifen, wie z. B. nach dem Grad der Beteiligung, um bestimmte Zielsetzungen zu erreichen, oder um Kriterien-Kombinationen mit Partizipationsanlässen in Verbindung zu bringen.

Neben den im Beitrag im Vordergrund stehenden technologischen Veränderungen kann die Vorgehensweise in der Systematisierung auf zahlreiche weitere Partizipationsanlässe angewendet werden.

6. Literatur

Cabrera, E. F., Ortega, J., & Cabrera, Á. (2003). An exploration of the factors that influence employee participation in Europe. *Journal of World Business*, *38*(1), 43–54. https://doi.org/10.1016/S1090-9516(02)00108-6

Hansen-Ampah, A., Altepost, A., Elaroussi, F., Hirsch, L., Merx, W., Oppermann, L., Rosenthal-von der Pütten, A., Rothermel, A. M., & Schiffer, S. (2025). Conceptualization of Demonstrators for Human-Technology Interaction with a Three-Layer Model. In S. Jin, J. H. Kim, Y.-K. Kong, J. Park, & M. H. Yun (Hrsg.), *Proceedings of the 22nd Congress of the International Ergonomics Association, Volume 1. Better Life Ergonomics for Future Humans (IEA 2024)*. Springer Nature Singapore.

Hansen-Ampah, A. T. (2022). Gemeinsam scheitern: Entwicklung eines netzwerkbasierten Innovationsmodells zur prognostizierenden (Nachhaltigkeits-)Analyse soziotechnischer Neuerungen [RWTH Aachen University]. In *Dissertation: Bd. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen* (S. pages Online-Ressource : Illustrationen, Diagramme). https://doi.org/10.18154/RWTH-2023-03546

Honneth, A. (2023). *Der arbeitende Souverän: Eine normative Theorie der Arbeit* (Erste Auflage, Originalausgabe). Suhrkamp.

Huchler, N. (2019). Assimilierende versus komplementäre Adaptivität: Grenzen (teil-)autonomer Systeme. In H. Hirsch-Kreinsen & A. Karacic (Hrsg.), *Autonome Systeme und Arbeit* (S. 139–180). transcript Verlag. https://doi.org/10.1515/9783839443958-007

Hucker, T. (2008). *Betriebliche Partizipation und gesellschaftlicher Wandel*. Rainer Hampp Verlag. https://doi.org/10.1688/9783866182806

Ney, M. (2006). *Wirtschaftlichkeit von Interaktionsplattformen*. DUV. https://doi.org/10.1007/978-3-8350-9091-0

Ogolla, S., Klöpper, M., Send, H., Straub, T. J., Hard, V., & Grünenberg, J. (2020). *Digitale Partizipationsplattformen und betriebliche Mitbestimmung: Eine empirische Analyse des Einsatzes von Enterprise Social Software (ESS) in der betrieblichen Praxis*. Hans-Böckler-Stiftung.

Olbert-Bock, S. (2002). *Lernprozesse bei Veränderungen in Unternehmen*. Peter Lang.

Renn, O. (2005). Technikakzeptanz: Lehren und Rückschlüsse der Akzeptanzforschung für die Bewältigung des technischen Wandels. *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis*, *3*(14), 29–38.

Vassilopoulou, J., Kyriakidou, O., Özbilgin, M. F., & Groutsis, D. (2024). Scientism as illusio in HR algorithms: Towards a framework for algorithmic hygiene for bias proofing. *Human Resource Management Journal*, *34*(2), 311–325. https://doi.org/10.1111/1748-8583.12430

Wright, M. T. (Hrsg.). (2010). *Partizipative Qualitätsentwicklung in der Gesundheitsförderung und Prävention* (1. Aufl). Huber.

Danksagung: Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „ERTRAG“ wird im Rahmen des Programms „Zukunft der Wertschöpfung“ (Förderkennzeichen: 02L23B070) durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) und die Europäische Union über den Europäischen Sozialfonds Plus (ESF Plus) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor:innen.

Ein Bewertungsrahmen für zuverlässige Transformationsgestaltung in Projekten und Organisationen

Fabian FRITSCH, Oliver STRÄTER

Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel
Heinrich-Plett-Str. 40, D-34132 Kassel

Kurzfassung: Die Arbeitswelt unterliegt durch Treibern wie Digitalisierung, Globalisierung oder künstlicher Intelligenz einem stetigen Wandel. Die Anforderungen an die Gestaltung von Arbeit ändern sich dadurch permanent und Unternehmen stehen in zunehmend kürzeren Zyklen vor der Herausforderung, darauf angemessen zu reagieren. Beispiele reichen von der Transformation der Automobilindustrie bis hin zur Diskussion, in welchem Umgang künstliche Intelligenz für Entscheidungen (Personalauswahl, Gerichtsverfahren) eingesetzt werden darf oder sollte.
Unternehmen sind grundsätzlich gefordert, auf diese Umstände zu reagieren um wettbewerbsfähig zu bleiben. Veränderungsprojekte vor diesem Hintergrund haben meist neuartigen Charakter mit offenem Ausgang. Die sich verändernden Einflussfaktoren (bspw. politische Rahmenbedingungen, gesellschaftliche Dynamiken) sind komplex und werden üblicherweise über das Projektmanagement im Rahmen von Change-Projekten realisiert. Das schließt auch Marktanalysen, Quantifizierung von Ungewissheiten, Risikomodellierungen etc. mit ein, die auf aktuellen Datengrundlagen und Annahmen beruhen.
Aus psychologischer Sich sind Reaktionen auf Veränderungen sowie die Fähigkeit, diese zu gestalten, gut beschreibbar und modellierbar. Den bei der Gestaltung eingesetzten kognitiven Eigenschaften sind dabei bekannte Limitationen entgegengesetzt (Biases). Diese Studie zeigt die Anwendung einer entwickelten Methode, die zur Bewertung dieser Limitationen beim Gestalten von Änderungen im Rahmen der Transformation von Arbeit angewendet werden kann. Die Ergebnisse verdeutlichen die Abnahme individueller/kognitiver Biases über die Bearbeitungszeit hinweg und geben Hinweise auf einen Anstieg gruppendynamischer Biases.

Schlüsselwörter: Menschliche Zuverlässigkeit, Methodenentwicklung, Transformation, Biases

1. Einleitung und Zielsetzung

Die Gestaltung von Arbeit unterliegt einem kontinuierlichen Wandel. Treiber wie Digitalisierung, Globalisierung und der Einsatz künstlicher Intelligenz führen dazu, dass Organisationen in immer kürzeren Zyklen mit grundlegenden Veränderungen konfrontiert sind. Für eine übersichtlichen Beschreibung und soziotechnische Analyse von Transformationen kann der MTO-Ansatz (Mensch-Technik-Organisation) nach Strohm und Ulich (1997) herangezogen werden. Am Beispiel der künstlichen Intelligenz zeigen sich auf der technischen Dimension rasante Änderungen mit Auswirkungen auf organisatorische Abläufe und die Interaktion zwischen Technik und Mensch. Für die Gestaltung von Arbeit ergibt sich daraus die Notwendigkeit, die

Herausforderungen an den Schnittstellen des MTO-Ansatzes zu identifizieren und zu modellieren, um eine korrektive Arbeitsgestaltung zu vermeiden (Ulich, 2011).

Auch unabhängig von künstlicher Intelligenz sind Projekte im Bereich Transformation oftmals durch einen hohen Neuigkeitsgrad, einen offenen Ausgang sowie durch sich dynamisch verändernde Einflussfaktoren gekennzeichnet. Das dies nicht immer gelingt, zeigen aktuelle Untersuchungen zu dieser Thematik (Oludapo et al., 2024; Ramesh & Delen, 2021).

Gleichzeitig ist die Dimension Mensch im Sinne von Entscheidungsträgern, Projektverantwortlichen und weiteren Akteuren eine bedeutsame Komponente mit inhärenten und weitgehend stabilen Eigenschaften, bspw. hinsichtlich der kognitiven Verarbeitung von Informationen. Dabei sind Abwägungen, Bewertungen und Entscheidungen unter der in den Transformationsprojekten bestehenden Ungewissheiten zu treffen.

Bezogen auf die Informationsverarbeitung ist bekannt, dass besonders in diesem Kontext kein rationales Denken und Urteilen angenommen werden kann (Tversky & Kahneman, 1974). Systematische Verzerrungen (Biases) können die Entscheidungsprozesse dominieren und sollten daher im Rahmen der Projekte Bestandteil einer Qualitätssicherung sein. Beispiele sind der confirmation bias, der die einseitige Suche und Interpretation einer einmal getroffenen Aussage oder Hypothese beschreibt oder das Phänomen groupthink, bei dem das Streben nach Einmütigkeit in Gruppen mit hohem Zusammenhalt die rationale Entscheidungenfindung dominieren kann (Evans, 1990; Janis, 1971). Um diese Verzerrungen zu messen, wurde eine Bewertungsmethode zur quantitativen Erfassung der menschlichen Zuverlässigkeit entwickelt und validiert. Mit dieser Studie wird gezeigt, wie die Bewertungsmethode für eine begleitende Messung in Projektegruppen genutzt werden kann und welche Ergebnisse dabei erreicht werden können.

2. Bewertung zuverlässiger Transformationsgestaltung mit AHRIC

Zur systematischen und vergleichbaren Erhebung der Biases wurde die Fragebogenmethode AHRIC (Assessment of Human Reliability In Concept phases) entwickelt. Durch Selbstauskünfte von Befragungspersonen kann dadurch mit geringem Zeitaufwand eine von Versuchsleitenden unabhängige Erhebung auf Basis einer 6-stufigen Likert-Skala vorgenommen werden. Für die Selbstaussagen wird die Höhe des Ausmaßes an Zustimmung bewertet, woraus ein Hinweis auf eine Anfälligkeit für einen entsprechenden Bias abgeleitet wird. Dies stellt eine vereinfachende Bewertung ohne eindeutige Diagnostik der Biases dar. Zielgruppe sind Gestalter und Umsetzer von Projekten mit Neuartigkeit, wie es im Rahmen von Transformation üblich ist, bspw. Entscheidungsträger und Projektbearbeiter. Tabelle 1 zeigt das Bewertungsverfahren, welches auf Basis einer Langform des Fragebogens entwickelt wurde. Wesentliche Zielstellung des AHRIC-S ist eine hohe Praxistauglichkeit und Ökonomie, um eine begleitende und wiederkehrende Messung in Projekten zu ermöglichen.

Tabelle 1: *Übersicht der verwendeten Items von AHRIC-S.*

Kategorie	Item
Anchoring Bias	Die anfänglichen Informationen haben einen nachhaltigen Eindruck auf die Ergebnisse des Meetings hinterlassen. (invertiert)
Confirmation Bias	Unter den Teilnehmenden herrschte bereits zu Beginn des Meetings eine bestimmte Vorstellung der Ergebnisse. (invertiert)
Overconfidence Bias	Als Experte/Expertin auf meinem Gebiet bin ich mir vollkommen sicher, dass meine Ansichten und Einschätzungen korrekt sind. (invertiert)
Law of the Instrument	Im Meeting wurden überwiegend bereits bekannte Lösungsansätze verfolgt, anstatt neue Perspektiven zu berücksichtigen. (invertiert)
Gruppenpolarisation	In unserer Diskussion wurde ein bestehender Konsens durch viele zusätzliche Argumente bestärkt. (invertiert)
Gruppenpolarisation	Innerhalb unserer Meetinggruppe haben wir sehr ähnliche Ansichten und Meinungen zu den Themen, die wir besprechen. (invertiert)
Gruppendenken	Die Führungskraft im Meeting hat klare Vorstellungen geäußert und durchgesetzt. (invertiert)
Gruppendenken	Im Meeting wurden aufgrund der heterogenen Zusammensetzung der Teilnehmenden teilweise sehr unterschiedliche Ansichten oder Meinungen diskutiert.
Management-Zielstellungen	Das Management hat Anforderungen und Ziele an unser Meeting gestellt, die trotz inhaltlicher Widersprüche erreicht werden mussten. (invertiert)

Hinweis. Invertiert gekennzeichnete Items wurden für die Auswertung rekodiert.

3. Studiendesign

Für die Studie wurde das Bewertungsverfahren AHRIC-S als begleitendes Messinstrument in Projektgruppen angewendet. Zielstellung innerhalb dieser Gruppen war, theoretische Konzepte der Arbeitspsychologie auf eine Problemstellung im Kontext der Digitalisierung der öffentlichen Verwaltungen anzuwenden. Der Kontroll- und Handlungsspielraum sowie die Neuartigkeit und Komplexität der Aufgabenstellung entsprach dabei der klassischen Definition von Projektgruppen (Schaper, 2019).

Die Datenerhebung erfolgte 2025 zu insgesamt drei Zeitpunkten:
T1: Beginn der Bearbeitung der Aufgabenstellung in den Projektgruppen
T2: Beginn der Bearbeitung der Aufgabenstellung in den Projektgruppen
T3: Abschließende Messung zum letzten Termin der Projektgruppen

Zusätzlich wurden in der Studie zwei unterschiedliche Fragebogenarten verwendet. Einerseits wurde der Fragebogen als reines Messinstrument im Anschluss an die Gruppenmeetings zur Verfügung gestellt (lediglich die Items aus Tabelle 1). Andererseits wurden den Teilnehmenden nach Präsentation und Bewertung der Items unter bestimmten Bedingungen Hinweise dargeboten. Die Hinweise bestanden aus einer Handlungsanweisung, die darauf abzielt, einen entsprechenden Bias künftig zu reduzieren. Dabei wurden die Hinweise bei Vorliegen eines bestimmten Antwortmusters automatisiert angezeigt. Schwellenwert war eine weitgehende bzw. vollständige Zustimmung zu einer Kategorie, bspw. zum Confirmation Bias.

Da keine Personenkennungen vorlagen, wurden die Messzeitpunkte als unabhängige Stichproben behandelt. Aufgrund von Dropouts variierte die Stichprobengröße zwischen den Zeitpunkten (T_1: $N_1 = 42$, T_2: $N_2 = 24$, T_3: $N_3 = 47$). Die Analyse beschreibt daher Mittelwertsunterschiede zwischen den Zeitpunkten auf Gruppenebene und keine intraindividuellen Veränderungen.

Zur Analyse der Daten wurde eine 3x2 ANOVA für unabhängige Stichproben durchgeführt. Als unabhängige Variablen wurden der Zeitpunkt (drei Ausprägungen: T_1, T_2, T_3) und die Fragebogenart hinsichtlich der Handlungsanweisungen (zwei Ausprägungen: mit und ohne Handlungsanweisungen) betrachtet. Abhängige Variable war die Ausprägung der menschlichen Zuverlässigkeit. Gerechnet wurden ANOVAs (Mittelwert über alle Items als Gesamtscore, individuelle- sowie gruppendynamische Ebene sowie für jedes der neun Items einzeln). Für signifikante Ergebnisse ($\alpha = 0.05$) wurde ein Tukey post-hoc Test und eine deskriptive Auswertung der Mittelwerte zu den einzelnen Zeitpunkten mit Berechnung der partiellen Eta-Quadrat Effektstärke vorgenommen.

4. Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen über alle Items hinweg keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Fragebogenarten (mit versus ohne Handlungsanweisungen) $F(1, 107) = 0.10$, $p = .75$). Betrachtet man die Zeitpunkte, ist für den Gesamtscore über alle Items kein signifikanter Unterschied feststellbar ($F(2, 107) = 2.07$, $p = .13$). Bei getrennter Analyse von individuellen und kollektiven Biases zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt zwischen den Zeitpunkten für individuelle Biases ($F(2, 107) = 9.39$, $p < .001$, $\eta_p^2 = .15$). Der Tukey post-Test zeigt eine signifikante Abnahme zwischen den Zeitpunkten T_1 und T_3. Deskriptiv bedeutet dies eine Abnahme von Zeitpunkt T1 zu T3 von 17,7 %.

Gleichzeitig besteht auf der gruppendynamischen Ebene kein signifikanter Haupteffekt des Zeitpunktes ($F(2, 107) = 0.83$, $p = .44$). Deskriptiv zeigt sich hier eine Steigerung zwischen den Zeitpunkten T_1 und T_3 von 8 %. Die Mittelwerte der individuellen Biases und gruppendynamischen Biases sind getrennt in Tabelle 2 berichtet.

Tabelle 2: *Mittelwerte über die Zeitpunkte für individuelle Biases und gruppendynamische Biases.*

Zeitpunkt	**Individuelle/kognitive Biases**		**Gruppendynamische Biases**	
	M	*SD*	*M*	*SD*
T_1	2.94	0.56	2.21	0.55
T_2	2.53	0.61	2.31	0.57
T_3	2.42	0.57	2.39	0.56

Hinweis. M = Mittelwert; *SD* = Standardabweichung. Die Zeitpunkte wurden als unabhängige Stichproben behandelt.

5. Diskussion

Die Studie verfolgt das Ziel, einen Bewertungsrahmen für Transformationsprojekte vorzustellen und die praktische Anwendung zu demonstrieren. Die Ergebnisse liefern erste empirische Hinweise hinsichtlich der individuellen/kognitiven und gruppendynamischen Biases. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Handlungsanweisungen keinen Unterschied ergeben. Ein Grund dafür könnte sein, dass die Anweisungen erst bei einer bestimmten Höhe an Zustimmung zu einem Bias angezeigt wurden und Versuchspersonen dieser Bedingung teilweise keine Hinweise erhielten.

Weiter zeigen die Ergebnisse die Abnahme der individuellen Biases und geben Hinweise auf steigende gruppendynamische Biases. Diese Ergebnisse bestätigen bestehenden Annahmen: Bereits das Beantworten von Fragen zu einem bestimmten Verhalten kann dieses Verhalten verändern (Rodrigues et al., 2015). Auch ist die Zunahme von polarisierenden Effekten in Gruppen ein bekanntes Muster (Hewstone & Martin, 2023).

Der vorgestellte Bewertungsrahmen mit AHRIC bietet insgesamt einen strukturierten Ansatz, um psychologische Einflüsse in Projekten zu messen und zu bewerten. Die Funktionsweise erfolgt aufgrund der Selbsterfassung menschzentriert und gleichzeitig können Projektgruppen, teilautonome Arbeitsgruppen oder Entscheidungsteams, wie bspw. Steuerungskomitees sich eigenständig mit Blick auf die Biases bewerten. Dies unterstützt eine zuverlässige Transformationsgestaltung auf der Ebene von Projekten. Gleichzeitig erlaubt die Ökonomie des Instrumentes mit rund drei Minuten Anwendungszeit auch eine Implementierung auf die Ebene der gesamten Organisation.

6. Literatur

Evans J S B T (1990) Bias in Human Reasoning: Causes and Consequences. Psychology Press.

Fritsch F, Sträter O, Röhlig K J & Heiermann M. (2025) ENSURE „Endlagersicherheit: Ungewissheiten und Regulatorische Aspekte“. KOBRA Universität Kassel. https://doi.org/10.17170/kobra-2025081211387

Hewstone M & Martin R (2023) Sozialer Einfluss. In: Sozialpsychologie (265–309). Springer.

Janis I (1971) Groupthink Among Policy Makers. In: Sanford N & Comstock C (Eds) Sanctions for Evil (71–89). Boston: Beacon Press.

Oludapo S, Carroll N & Helfert M (2024) Why do so many digital transformations fail? A bibliometric analysis and future research agenda. Journal of Business Research, 174, 114528. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2024.114528

Ramesh N & Delen D (2021) Digital Transformation: How to Beat the 90% Failure Rate? IEEE Engineering Management Review, 49(3), 22–25. https://doi.org/10.1109/EMR.2021.3070139

Rodrigues A M, O'Brien N, French D P, Glidewell L & Sniehotta F F (2015) The question–behavior effect: Genuine effect or spurious phenomenon? A systematic review of randomized controlled trials with meta-analyses. Health Psychology, 34(1), 61–78. https://doi.org/10.1037/hea0000104

Tversky A & Kahneman D (1974) Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases: Biases in judgments reveal some heuristics of thinking under uncertainty. science, 185(4157), 1124–1131.

Schaper N (2019) Gruppenarbeit in der Produktion. In: Arbeits- und Organisationspsychologie. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56666-4_23

Strohm O & Ulich E (Eds) (1997) Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten: Ein Mehr-Ebenen-Ansatz unter besonderer Berücksichtigung von Mensch, Technik und Organisation (Vol. 10). vdf Hochschulverlag AG.

Ulich E (2011) Arbeitspsychologie. vdf Hochschulverlag AG.

Transferprozesse systematisch gestalten: Anwendung und Reflexion des Ordnungsrahmens Transfer Engineering in der Arbeitsforschung

Anja KOONEN, Antonia MARKUS, Esther BOROWSKI, Ingrid ISENHARDT

Lehrstuhl für Informations-, Qualitäts-, und Sensorsysteme in der Produktion (IQS)
WZL | RWTH Aachen University, Campus-Boulevard 30, D-52074 Aachen

Kurzfassung: Die Transformation der Arbeitswelt erfordert kooperative und partizipative Formate, in denen Wissen zwischen Forschung und Praxis wirksam zusammengeführt wird. Mit dem Konzept des Transfer Engineerings (TE) steht hierfür seit über einem Jahrzehnt ein kommunikationsorientierter Ordnungsrahmen zur Verfügung. Bislang wurde nur begrenzt untersucht, wie tragfähig und weiterentwicklungsfähig dieser Ansatz unter aktuellen Transformationsbedingungen ist. Anhand von drei Fallstudien aus den regionalen Kompetenzzentren der Arbeitsforschung (ReKodA) analysiert der Beitrag, unter welchen Bedingungen TE partizipative Wissensproduktion unterstützt, wo Grenzen sichtbar werden und welches Potenzial sich für eine zeitgemäße Weiterentwicklung des Modells ergibt.

Schlüsselwörter: Transformationsprozesse, Forschung-Praxis-Kooperation, Innovationsgestaltung, Kommunikationsräume, Rollenverständnisse

1. Einleitung

Damit Innovationen entstehen und wirksam verbreitet werden, ist die frühzeitige Beteiligung unterschiedlicher Zielgruppen und Transferakteure zentral. Partizipative Ansätze erweitern das Gestaltungspotenzial, stärken Handlungsspielräume und fördern Vertrauen. Sie benötigen jedoch gezielte methodische und organisatorische Unterstützung, da sie komplexe Aushandlungsprozesse zwischen heterogenen Akteuren strukturieren, Rollen und Erwartungen klären und die nachhaltige Verankerung von Ergebnissen sichern müssen. (Koonen und Joerißen 2023).

Transfer Engineering (TE) bietet dafür einen kommunikationsorientierten Rahmen zur systematischen Gestaltung von Wissens- und Transferprozessen. Im Projekt WIN:A dient TE zur Analyse und Strukturierung der Transferaktivitäten der ReKodA, um Forschungsergebnisse regional nutzbar zu machen. Der Beitrag untersucht diese Methoden und reflektiert das Potenzial des TE im Kontext der Arbeitsforschung. Die ReKodA stellen dabei einen besonders spannenden Forschungsbereich dar, da sie als regionale Verbundprojekte Akteure aus Forschung, Praxis und intermediären Organisationen zusammenführen und damit zentrale Schnittstellen bilden, an denen wissenschaftliche Erkenntnisse in konkrete, regional wirksame Innovations- und Gestaltungsprozesse der Arbeitswelt überführt werden können.

2. Theoretischer Rahmen

Das systemtheoretische Konzept des Transfer Engineerings (TE) bietet einen Ordnungsrahmen zur Initiierung und Verstetigung von Kommunikationsprozessen zwischen Akteuren und ermöglicht so die Analyse und Optimierung von Transfermethoden. TE fungiert sowohl als Design- als auch als Reflexionsinstrument zur gezielten Gestaltung projektbezogener Bedingungen und Handlungen (Leisten 2012).

Zentral für den TE-Ansatz ist die Transdisziplinarität, da komplexe Herausforderungen wie die Digitalisierung der Arbeitswelt Wissen aus verschiedenen Systemen erfordern. Unternehmensbedarfe und Forschungsinteressen werden gleichberechtigt berücksichtigt und durch gestaltete Kommunikationsprozesse zusammengeführt. Der Begriff „Engineering“ verweist auf die systematische Prozessgestaltung nach Vorbild der VDI-Richtlinie 2221. Ziel des TE ist es, Forschungsergebnisse praxisnah nutzbar zu machen, Akzeptanz durch Partizipation zu fördern und klassische Rollen zwischen Wissenschaft und Praxis zu überwinden. Im Mittelpunkt stehen sechs Leitdifferenzen -Personen, Themen, Wege, Orte, Zeiten und Hilfsmittel-, die Wissenstransfer prozessual und empirisch analysierbar machen (vgl. Abb. 1) (Leisten 2012).

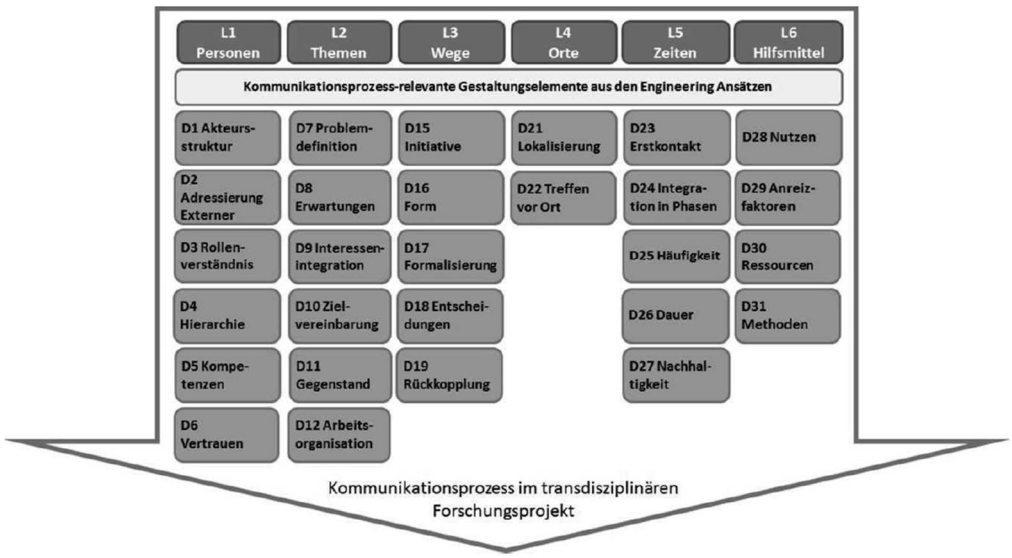


Abbildung 1: *Zusammenfassende Darstellung der Leitdifferenzen und Dimensionen des Kommunikationsprozesses. Leisten 2012:125.*

Im Rahmen des Beitrages werden die Leitdifferenzen Themen und Zeiten näher betrachtet. An diesen beiden Leitdifferenzen lassen sich typische Spannungen und Dynamiken besonders deutlich beobachten, etwa zwischen Offenheit und Verbindlichkeit oder zwischen projektlogischen Zeitvorgaben und den zeitlichen Ressourcen der beteiligten Akteure. Die Leitdifferenz *Themen (L2)* beschreibt bspw. die inhaltlichen Voraussetzungen transdisziplinärer Kommunikation und wird durch die Dimensionen Problemdefinition, Erwartungen, Interessenintegration, Zielvereinbarung, Gegenstand und Arbeitsorganisation konkretisiert. Erfolgreiche Kooperation basiert auf einer gemeinsam entwickelte Problemdefinition, transparenten Erwartungen und flexiblen Zielvereinbarungen, die sich häufig erst im Projektverlauf präzisieren (Leisten 2012).

Interessenintegration erfolgt als kontinuierlicher Aushandlungsprozess und mündet

in einem gemeinsamen Forschungsgegenstand. Dieser fungiert als Selektionsrahmen für relevante Informationen und Aufgaben. Die Umsetzung wird durch klare, selbstorganisierte Arbeitsstrukturen, arbeitsteilige Prozesse und einen gemeinsamen Zugang zu Arbeitsmaterialien abgesichert (Leisten 2012).

Die Leitdifferenz *Zeiten (L5)* fokussiert die zeitlichen Bedingungen transdisziplinärer Zusammenarbeit, etwa Erstkontakte, Kommunikationshäufigkeit, Dauer und Nachhaltigkeit. Frühe Einbindung der Akteure sowie eine kontinuierliche Zusammenarbeit über alle Projektphasen hinweg fördern Partizipation, Vertrauen und bedarfsgerechte Ergebnisentwicklung. Nachhaltigkeit zeigt sich insbesondere in der Fortführung von Kommunikationsbeziehungen über die Projektlaufzeit hinaus (Leisten 2012).

Kommunikation wird durch Akteure, Inhalte sowie räumliche und zeitliche Strukturen geprägt. Kompetenzen, Motivation und Vertrauen beeinflussen den Prozess ebenso wie Themenwahl, Kommunikationswege, Medien und zeitliche Kontinuität. TE versteht sich damit als agiles, bedarfsorientiertes Modell, das wissenschaftliche, gesellschaftliche und praktische Anforderungen verbindet (Bergmann und Schramm 2008, Bromme et al. 2004, Frey et al. 1998).

Angesichts tiefgreifender Veränderungen der Arbeitswelt und des hohen strategischen Stellenwerts des Transfers in den ReKodA überprüft der Beitrag, ob TE diese Funktion weiterhin erfüllt. Die Analyse konkreter Fallstudien dient dazu, Aktualität, Anwendbarkeit und Weiterentwicklungspotenziale des Ansatzes fundiert zu bewerten.

3. Methodik

Das Projekt WIN:A untersucht, wie geeignet der TE-Modellansatz ist, um Chancen und Grenzen des Transfers zu analysieren. Betrachtet wird, auf welchen Ebenen sich diese zeigen und wie sie mit Abhängigkeiten, Akteurskonstellationen und Prozesstypen verknüpft sind. Angesichts zahlreicher Einflussfaktoren stellt sich dabei die Frage nach Wirksamkeit, Erfolg und Messbarkeit von Transfermaßnahmen (Hohlbaum et al. 2023).

TE soll transdisziplinäre Forschung als gemeinsamen Lernprozess von Wissenschaft und Wirtschaft begreifen und generische Optimierungspotenziale aufzeigen.

Für die Anwendung des TE-Rahmens wurden Projekte ausgewählt, die

- sich für systematische Transferprozesse eignen,
- transdisziplinär ausgerichtet sind,
- gesellschaftlich relevante Problemstellungen adressieren,
- eine ausreichende Laufzeit aufweisen und
- Potenzial für skalierbare oder modellhafte Lösungen bieten.

Auf Basis dieser Kriterien wurden drei ReKodA mit unterschiedlichen thematischen Schwerpunkten und Projektfortschritten ausgewählt. Die verschiedenen Projektlaufzeiten und thematischen Ausrichtungen der ReKodA-Förderphasen ermöglichen Rückschlüsse auf die Weiterentwicklung des TE-Ansatzes und erlauben einen Vergleich seiner Wirksamkeit in unterschiedlichen Projektstadien.

Datenerhebung und Auswertung

Für jede Fallstudie wurden Leitdifferenzen, Dimensionen und Kriterien des TE anhand von Projektdokumenten und qualitativen Experteninterviews erhoben. Die drei Interviews (22.08.–02.09.2025) wurden online mit Koordinierungsstellen oder

wissenschaftlichen Mitarbeitenden geführt und dauerten 40–60 Minuten. Ein Gespräch erfolgte mit zwei Personen. Ein semistrukturierter Leitfaden erleichterte die thematische Strukturierung und Vergleichbarkeit der Ergebnisse bei der anschließenden Analyse.

Zusätzlich wurden Publikationen, Vorhabensbeschreibungen und Webseiten analysiert, um Kommunikationsprozesse zu rekonstruieren. Die Auswertung erfolgte mittels Qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring 2022. Auf Basis des Kategoriensystems zu Leitdifferenzen und Dimensionen wurden Daten kodiert, um Ausprägungen im Projektverlauf sichtbar zu machen und Empfehlungen zur Weiterentwicklung des TE abzuleiten.

Für die exemplarische Anwendung wurden die Leitdifferenzen „Themen“ und „Zeiten“ gewählt. Die Leitdifferenz „Themen“ adressiert den inhaltlichen Kern transdisziplinärer Zusammenarbeit. Sie macht u.a. sichtbar, welche Probleme als relevant definiert werden und wie im Kommunikationsprozess ein gemeinsamer Forschungsgegenstand ausgehandelt wird. Die Leitdifferenz „Zeiten“ verweist zudem auf einen zweiten, zentralen Spannungsbereich transdisziplinärer Forschung: die zeitliche Logik der beteiligten Akteure.

Zur Ableitung von Maßnahmen zur Verbesserung des Transfers sowie zur Identifikation von Weiterentwicklungspotenzialen des TE-Designs wird im folgenden Abschnitt das Rahmenkonzept Transfer Engineering vertieft und praktisch angewendet. Dabei werden die in den Fallstudien identifizierten kommunikativen Handlungen systematisch den Leitdifferenzen, Dimensionen und Kriterien des TE zugeordnet.

4. Ergebnisse

Die Auswertung der Interviews zeigt, dass sich die Leitdifferenz *Themen* (L2) in allen drei Fallstudien als zentraler Integrationsraum transdisziplinärer Zusammenarbeit erweist. Besonders deutlich treten dabei die Dimension Gegenstand (D11) im Sinne der Klärung und Ausgestaltung der Forschungsinhalte sowie die Interessenslage der beteiligten Akteure hervor. In allen ReKodA-Fällen wird sichtbar, dass thematische Verständigung weniger über formale Festlegungen als über kontinuierliche kommunikative Abstimmungen erfolgt.

Der Gegenstand der Zusammenarbeit ist zu Projektbeginn häufig nur grob umrissen und entwickelt sich erst im Verlauf gemeinsamer Aushandlungsprozesse. So beschreibt ein Interviewpartner, dass zu Beginn bewusst offen vorgegangen wurde und statt einer festgelegten Struktur zunächst gemeinsam ausgelotet wurde, „[…] wie sind die Bedarfslagen und welche Module wollen wir gemeinsam bearbeiten.“ (ReKodA 2). Die Forschungsinhalte entstehen damit nicht linear, sondern als Ergebnis iterativer Klärung zwischen wissenschaftlichen und praktischen Perspektiven. Diese Offenheit wird durch zyklische Feedbackprozesse gestützt, etwa wenn im Rahmen eines Design-Science-based-Research-Ansatzes Erwartungen regelmäßig überprüft und angepasst werden („[…] in diesem Feedback zeigen sich ja dann halt andere Erwartungen… das ist völlig normal, dass wir das dann auch mit aufnehmen“, ReKodA 3).

Eng damit verknüpft ist die Dimension der Interessenslage. Die Interviews verdeutlichen, dass wissenschaftliche Logiken und Praxisinteressen nicht immer deckungsgleich sind. Umfangreiche Vorhabensbeschreibungen dienen zwar der formalen Abstimmung, werden von Praxispartnern jedoch teilweise als schwer

zugänglich wahrgenommen. Ein Interviewpartner beschreibt, dass Praxisakteure zentrale Entscheidungen erst spät hinterfragen, da sie die Dokumente „wie ein Buch“ lesen müssten und deren Relevanz nicht immer unmittelbar einordnen könnten (ReKodA 1). Daraus resultieren nachträgliche Änderungswünsche, die nicht mehr in bestehende Zeitfenster integrierbar sind.

Zugleich zeigen die Interviews, dass auch die Erwartungen an die Rolle der Wissenschaft variieren. Während von Seiten der Praxis häufig konkrete Impulse erwartet werden, verstehen sich Forschende zugleich als Partner in einem gemeinsamen Entwicklungsprozess („…wir stehen als Hochschulen den Praxispartnern zur Verfügung, um kollaborativ und gemeinsam die Praxispartner zu entwickeln“, ReKodA 1). Diese unterschiedlichen Interessenlagen werden im Projektverlauf nicht vollständig aufgelöst, sondern fortlaufend kommunikativ bearbeitet.

Insgesamt wird deutlich, dass thematische Integration in den untersuchten Projekten vor allem über die kontinuierliche Klärung der Forschungsinhalte und die Aushandlung unterschiedlicher Interessen erfolgt. Der gemeinsame Projektgegenstand fungiert dabei als zentraler Bezugspunkt, an dem Erwartungen, Relevanzzuschreibungen und Handlungsoptionen im Verlauf des Projekts immer wieder neu justiert werden.

Die zeitliche Strukturierung der Kommunikation (Leitdifferenz *Zeiten*) stellt in allen Fallstudien einen wesentlichen Erfolgsfaktor transdisziplinärer Zusammenarbeit dar. Besonders deutlich wird die Bedeutung einer kontinuierlichen und hochfrequenten Einbindung der beteiligten Akteure. Mehrere Projekte berichten von einem engen und dauerhaften Austausch mit Praxis- und Forschungspartnern, der durch regelmäßige Videokonferenzen, geteilte Arbeitsumgebungen und interaktive Tools unterstützt wird („…die Arbeit mit den Use-Case-Unternehmen … ist eigentlich kontinuierlich und ganz, ganz eng“, ReKodA 2; „…wir sind wirklich sehr intensiv mit unseren F&E-Partnern“, ReKodA 2). Diese hohe Kontaktdichte fördert Koordination, Lernprozesse und die laufende Anpassung der Projektinhalte.

Gleichzeitig zeigt sich, dass Häufigkeit und Intensität der Kommunikation nicht immer vorab geplant sind, sondern sich situativ entwickeln. Insbesondere in frühen Projektphasen kam es teils zu einer sehr hohen Anzahl an Abstimmungsformaten, die im weiteren Verlauf bewusst reduziert wurden („…(plötzlich) waren da sieben Jour Fixes oder so pro Woche. Und das haben wir dann natürlich reduziert“, ReKodA 1). Der erhöhte Kommunikationsbedarf zu Projektbeginn wird dabei als notwendig erachtet, um gemeinsame Arbeitsgrundlagen zu schaffen, auch wenn dies temporär zu erheblichen Koordinationsaufwänden führt. Der TE-Rahmen ermöglicht es, diese zeitlichen Muster systematisch sichtbar zu machen und gezielt als Gestaltungsgrößen für nachhaltige Transferprozesse zu nutzen.

5. Fazit und Diskussion

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Transfer Engineering ein grundsätzlich geeignetes Instrument ist, um transdisziplinäre Transferprozesse zu strukturieren und reflexiv zu begleiten. Die exemplarische Analyse der Leitdifferenzen Themen und Zeiten zeigt, dass die Integration von Forschung und Praxis weniger durch formale Festlegungen als durch kontinuierliche, situative Kommunikationsprozesse erfolgt. Zentrale Elemente wie gemeinsame Problemdefinitionen, Zielvereinbarungen oder frühe Erstkontakte sind dabei häufig implizit angelegt und entwickeln sich erst im

Projektverlauf.

Eine Stärke des TE-Rahmens liegt darin, solche impliziten Muster systematisch sichtbar zu machen. Zugleich verdeutlichen die Fallstudien, dass seine Leistungsfähigkeit kontextabhängig ist und durch Ressourcenknappheit, projektlogische Zwänge oder unterschiedliche zeitliche Logiken begrenzt wird. Zudem ist der analytische Mehrwert mit einem erhöhten Reflexions- und Abstimmungsaufwand verbunden, was die Anwendbarkeit insbesondere in ressourcenarmen Kontexten einschränken kann.

Die Ergebnisse basieren auf einer begrenzten empirischen Grundlage und erlauben keine generalisierenden Aussagen, bieten jedoch Einblicke in typische Spannungsfelder transdisziplinärer Transferpraxis. Transfer Engineering ist daher weniger als normatives Steuerungsinstrument zu verstehen, sondern als reflexiver Ordnungsrahmen. Für eine fundierte Bewertung und mögliche Weiterentwicklung des Ansatzes ist es erforderlich, auch die bislang nicht vertieft untersuchten Leitdifferenzen systematisch zu analysieren und den Ansatz in größeren, vergleichenden Fallstudien weiter zu validieren.

6. Literatur

Bergmann, Matthias; Schramm, Engelbert (2008): Innovation durch Integration. Eine Einleitung. In: Matthias Bergmann und Engelbert Schramm (Hg.): Transdisziplinäre Forschung. Integrative Forschungsprozesse verstehen und bewerten. Frankfurt, New York: Campus Verlag, S. 7–20.

Bromme, Rainer; Jucks, Regina; Rambow, Riklef (2004): Experten-Laien-Kommunikation im Wissensmangement. In: Gabi Reinmann und Heinz Mandl (Hg.): Psychologie des Wissensmanagements. Perspektiven, Theorien und Methoden. Göttingen: Hogrefe, S. 176–188.

Frey, Siegfried; Bente, Gary; Frenz Hans-Georg (1998): Analyse von Interaktionen. In: Heinz Schuler (Hg.): Lehrbuch Organisationspsychologie. Nachdr. der 2., korr. Aufl. Bern, Göttingen: Huber (Aus dem Programm Huber), S. 353–375.

Hohlbaum, Kathrin; Deutz, Cathrin; Koonen, Anja; Collienne, Nina (2023): Transfer als Medium und Methode. In: Esther Borowski, Oleg Cernavin, Frank Hees und Theresa Joerißen (Hg.): Erfolgreicher Transfer in der Arbeitsgestaltung. Wie Dienstleistungen zur präventiven Arbeitsgestaltung und Ergebnisse der Arbeitsforschung die Akteure in den Unternehmen wirkungsvoll erreichen. Münster: Waxmann Verlag GmbH, S. 19–32.

Koonen, Anja; Joerißen, Theresa (2023): Fazit: Arbeitsforschung wirkungsvoller für die Transformation nutzen. In: Esther Borowski, Oleg Cernavin, Frank Hees und Theresa Joerißen (Hg.): Erfolgreicher Transfer in der Arbeitsgestaltung. Wie Dienstleistungen zur präventiven Arbeitsgestaltung und Ergebnisse der Arbeitsforschung die Akteure in den Unternehmen wirkungsvoll erreichen. Münster: Waxmann Verlag GmbH, S. 321–326.

Leisten, Ingo (2012): Transfer Engineering in transdisziplinären Forschungsprojekten. Dissertation. RWTH Aachen, Aachen.

Mayring, Philipp (2022): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 13., überarbeitete Auflage. Weinheim, Basel: Beltz.

VDI Richtlinie 2221, 11.2019: Entwicklung technischer Produkte und Systeme – Modell der Produktentwicklung. Blatt 1. Online verfügbar unter https://www.vdi.de/richtlinien/programme-zu-vdi-richtlinien/vdi-2221, zuletzt geprüft am 15.12.2025.

Förderhinweis: Das Begleitvorhaben WIN:A (FKZ: 02L19C020 ff.) wird im Rahmen der Fördermaßnahme „Regionale Kompetenzzentren der Arbeitsforschung“ vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für diesen Beitrag liegt bei den Autorinnen.

Arbeitspolitische Herausforderungen in der Kreislaufwirtschaft

Martin KUHLMANN, Tammo MANNOTT

Soziologisches Forschungsinstitut Göttingen (SOFI) e.V.
Friedländer Weg 31, D-37085 Göttingen

Kurzfassung: Kreislaufwirtschaft ist Ziel vielfältiger industriepolitischer Initiativen. Ungeklärt sind demgegenüber die hiermit verbundenen arbeitspolitischen Herausforderungen sowie die Rolle und Bedeutung der Sozialpartner. Auf Basis explorativer Expertengespräche und Betriebsfallstudien werden erste Ergebnisse zu arbeitsbezogenen Gestaltungsperspektiven zur Förderung der Kreislaufwirtschaft vorgestellt.

Schlüsselwörter: Kreislaufwirtschaft, Arbeitspolitik, Sozialpartnerschaft, Start-ups, Elektrorecycling, Chemieindustrie

1. Einleitung

Dekarbonisierung gilt seit Jahren als Treiber wirtschaftlicher Veränderungen. Ökologisierung prägt sowohl in Deutschland als auch auf europäischer Ebene das Handeln der politischen Akteure und ist ein bedeutendes Feld gesetzgeberischen Handelns, verbandspolitischer Initiativen sowie von nationalen und europäischen Förderprogrammen. Verstärkt durch den in jüngerer Zeit aufgrund von weltwirtschaftlichen und geostrategischen Veränderungen gewachsenen Fokus auf Fragen der Ressourcensicherung spielen Kreislaufwirtschaftsüberlegungen hierbei eine immer größere Rolle. Auch auf der Unternehmensebene richten sich Bemühungen verstärkt nicht nur auf Dekarbonisierung und Ökologisierung von Produkten, Dienstleistungen und Produktionsprozessen, sondern auch hier gewinnen Kreislaufwirtschaftsprinzipien an strategischem Stellenwert. Im politischen Raum findet diese veränderte Priorisierung Ausdruck in Initiativen wie dem European Green Deal, dem Clean Industrial Deal sowie insbesondere dem Circular Economy Action Plan und Circular Economy Act (exemplarisch BDE 2025). Auf nationaler Ebene bestehen seit Jahren vergleichbare Bemühungen, die u.a. im Ordnungsrahmen der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie zum Ausdruck kommen (BMUKN 2025). Nicht nur mit Blick auf Ökologie und Nachhaltigkeit, sondern auch in wirtschaftlicher Hinsicht werden Innovationen im Bereich Kreislaufwirtschaft mittlerweile als Beitrag zu einer erhöhten Wettbewerbsfähigkeit gesehen, sodass sich in der Durchsetzung von Kreislaufwirtschaftsprinzipien ökologische, ressourcenorientierte und wirtschaftliche Ziele verbinden (Wilts 2023, Bertelsmann Stiftung 2025).

Während sich (industrie-)politisch und vielfach auch auf Unternehmensebene ein Konsens in Richtung Kreislaufwirtschaft herausgebildet hat, ist bislang weitgehend ungeklärt, inwieweit hiermit zugleich spezifische arbeitspolitische Herausforderungen einhergehen. Im sogenannten „Deutschen Modell“ der Wirtschaftspolitik (Dustmann et al. 2014) spielt staatliches Handeln im Verbund mit Aktivitäten der Sozialpartner historisch gesehen eine wichtige Rolle. In arbeitspolitisch wichtigen Feldern wie Tarifpolitik, Arbeitsmarktregulierung, Aus- und Weiterbildung bis hin zu Fragen von Personalpolitik und Arbeitsgestaltung waren und sind die Sozialpartner überbetrieblich und betrieblich aktiv und gilt deren Handlungsfähigkeit und Engagement als Beitrag zur ökonomischen Leistungsfähigkeit der deutschen Wirtschaft insgesamt. Bislang

unbestimmt ist angesichts der Bedeutung der Sozialpartner allerdings nicht nur, welche arbeitspolitischen Herausforderungen sich in einer Kreislaufwirtschaft stellen. Ungeklärt ist außerdem inwieweit und auf welchen Wegen den Sozialpartnern in der Kreislaufwirtschaft eine vergleichbare, wirtschafts- und arbeitspolitisch relevante Rolle zukommt bzw. zukommen kann. Anders als in etablierten Branchen, die sich durch eine – nach wie vor – vergleichsweise große Dichte und Handlungsfähigkeit sozialpartnerschaftlicher Akteure auszeichnen, gilt dies für das Feld der Kreislaufwirtschaft bislang nicht. Zudem ist fraglich, inwieweit hierbei überhaupt von einer Branche im traditionellen Sinne, die durch je typische Unternehmensstrukturen sowie Betriebstypen, Arbeits- und Beschäftigungsformen bis hin zu Personalstrukturen, Ausbildungsprofilen und sogar Arbeitsanforderungen und Arbeitsbedingungen geprägt ist, die Rede sein kann (Kirchherr et al. 2023).

Um dieser zunächst eher explorativen Frage nachzugehen, haben wir im Rahmen des vom BMFTR geförderten Kompetenzzentrum für Arbeitsforschung KREIS – Circular Economy menschengerecht gestalten (vgl. Ritter et al. 2024) Expertengespräche mit Vertretern von Sozialpartnern (Arbeitgeberverbände, Gewerkschaften) geführt sowie Kurzfallstudien in Betrieben realisiert, die der Kreislaufwirtschaft zugerechnet werden können. Bestandteile unserer Kurzfallstudien sind Expertengespräche auf verschiedenen Hierarchieebenen und in jeweils zentralen Funktionsbereichen, ausführliche (Betriebs-)Begehungen sowie Beschäftigteninterviews. Im vorliegenden Beitrag werden ein paar erste, noch vorläufige Erkenntnisse unseres Projekts zusammengetragen.

2. Arbeitspolitische Herausforderungen

Ein erstes Ergebnis unserer bisherigen Erhebungen lautet, dass sich die Kreislaufwirtschaft weniger als andere Felder wirtschaftlichen Handelns als Wirtschafts*bereich* bzw. eigenständige Branche charakterisieren lässt. Auch wenn Bereiche wie die Abfallwirtschaft oder das Recycling durch typische, Branchenlogiken konstituierende Elemente geprägt sind wie um spezifische Geschäftsmodelle, ökonomische Rahmenbedingungen sowie Betriebstypen, Arbeitsformen und Personalstrukturen oder charakteristische Managementstrategien, Arbeitskulturen oder Ausprägungen der Sozialpartnerschaft. Wir sehen Kreislaufwirtschaft eher als Wirtschafts*prinzip*, bei dem zwar typische Orientierungen der Akteure eine wichtige koordinierende sowie Kooperationen und Netzwerke konstituierende Rolle spielen. Die Heterogenität der Betriebstypen, Arbeits- und Personalstrukturen sowie der betrieblichen Sozialbeziehungen und der Ausprägungen von Sozialpartnerschaft ist in der Kreislaufwirtschaft jedoch ungleich größer. Legt man für einen ersten Versuch einer Kartographie jene Unternehmen zugrunde, denen in europäischen und nationalen Initiativen eine besondere Bedeutung für die Entwicklung der Kreislaufwirtschaft zugeschrieben wird oder die sich als Teil der Kreislaufwirtschaft verstehen, so wird deren Verschiedenartigkeit unmittelbar deutlich. Neben bereits stärker etablierten Teilbranchen wie Abfallwirtschaft oder Recycling, lassen sich Teile der Papier- und der Hohlglasindustrie, die seit vielen Jahren in erheblichem Umfang Rohstoffe wiederverwerten der Kreislaufwirtschaft zurechnen. Zunehmend gilt dies außerdem für Teile der Chemischen Industrie – insbesondere im Kunststoffbereich sowie in der Metallurgie – sowie für biotechnologische Betriebe. Wichtige Akteure im Bereich der Kreislaufwirtschaft sind außerdem: der vor allem in der Elektronik etablierende Bereich des Refurbishing (Backmarket, Rebuy, u.a.), Plattformen und

Softwarehersteller, die als Enabler von Kreislaufwirtschaft fungieren, die sich vielfach noch im Non-profit-Sektor etablierenden sogenannten „Reparatur-Cafés“ und, nicht zuletzt, weil für die Entwicklung der Kreislaufwirtschaft besonders relevant, der auch in quantitativer Hinsicht zunehmend wichtiger werdende Bereich Start-ups (vgl. Prognos & INFA 2024).

Eine Analyse der arbeitspolitischen Herausforderungen und Gestaltungsperspektiven sowie Rolle der Sozialpartner hat daher gerade in der Kreislaufwirtschaft differenziert zu erfolgen. Mit dem Ziel, Orientierungsleistungen für die beteiligten Akteure und die Politik zu erbringen, kann dies gegenwärtig nur in Form einer zu entwickelnden Landkarte erfolgen, die besonders prägende und dringliche arbeitspolitische Herausforderungen der Kreislaufwirtschaft benennt. Im vorliegenden Beitrag werden wir erste Befunde zu drei besonders wichtigen und zudem quantitativ relevanten Teilbereichen der Kreislaufwirtschaft vorlegen, die zugleich einen Einblick in die erhebliche arbeitspolitische Heterogenität ermöglichen. Mit dem Elektro(geräte)recycling, der Chemisch-metallurgischen Industrie und Start-ups bewegen wir uns in drei in hohem Maße unterschiedlichen Feldern in Bezug auf Arbeitsformen und Personalstrukturen. Sie decken eine Spannweite ab von überwiegend Angelernten (Elektrorecycling) über dual ausgebildete Produktionsfachkräfte und hochqualifizierte Angestellte (Chemische Industrie) bis zu akademisch qualifizierten, vielfach am Anfang ihres Berufslebens stehenden Personen (Start-ups). Die drei Bereiche sind durch unterschiedliche Arbeitslogiken und arbeitspolitische Herausforderungen geprägt. Wobei wir unter Arbeitslogiken die Besonderheiten der jeweiligen Tätigkeiten hinsichtlich Arbeitsanforderungen und Arbeitsbedingungen, die jeweils vorherrschenden Arbeitsformen und Arbeitskulturen sowie typischerweise verbreitete Arbeitsorientierungen der Beschäftigten verstehen (Altendorf/Kuhlmann 2025). Mit Blick auf die arbeitspolitischen Herausforderungen in den drei Feldern der Kreislaufwirtschaft ist zudem wichtig, dass die Arbeitslogiken zugleich mit je typischen Betriebsstrukturen und vielfach außerdem mit charakteristischen Führungskulturen, Managementstrategien und Personalpolitiken einhergehen. Im Anschluss an eine knappe Darstellung der Situation von Start-ups werden kontrastierend die Fälle Elektrorecycling und chemisch-metallurgische Industrie bilanziert.

2.1 Start-ups

Prägendes Merkmal der Arbeitslogik in Start-ups ist die Entwicklung und Etablierung von Geschäftsmodellen. Von einer kleinen, in der Regel akademisch qualifizierten Gruppe von Beschäftigten, in denen die Gründer:innen auch operativ eine zentrale Rolle spielen, werden abseits von etablierten Unternehmensstrukturen innovative Ideen in Geschäftsmodelle übersetzt. Typisch für Start-ups ist, dass sie sich in einem Dreieck bewegen aus Sicherstellung von Kapitalbedarf (Investoren finden und pflegen), Entwicklung von technisch-organisatorischen Innovationen (Innovationsarbeit sowie administrativ-rechtliche Etablierung des Geschäftsmodells) und Bemühungen um eine Verankerung des neuartigen Geschäftsmodells im wirtschaftlichen Umfeld (Netzwerkarbeit beim Aufbau von Geschäftsprozessen und ggf. Lieferketten). Zumeist handelt es sich nach für Deutschland vorliegenden Zahlen (Hirschfeld et al. 2025) um Kleinstunternehmen (in rund 60 Prozent arbeiten weniger als vier Personen) oder zumindest Kleinunternehmen (in 95 Prozent der Start-ups arbeiten weniger als 50 Personen). Der Unternehmenszweck der Entwicklung von Geschäftsmodellen geht arbeitsbezogen mit großen Gestaltungspielräumen, der Notwendigkeit selbständigen und zugleich kooperativen Arbeitshandelns und großen

fachlichen Entwicklungsmöglichkeiten einher. Aufgrund der stets präsenten Gefahr, dass die Entwicklung eines Geschäftsmodells scheitern kann (Cantamesse et al. 2018) ist die Arbeitslogik von Start-ups zugleich durch ein hohes Maß an Unsicherheit geprägt. In organisationaler Hinsicht sind Zuständigkeiten und Kompetenzbedarfe fluide und häufig eher personell als formal definiert. Die Tatsache, dass notwendige administrativ-rechtliche Aufgaben eher selten von gesondert qualifiziertem und spezialisiertem Personal übernommen werden, verstärkt die für Start-ups typische Kombination aus großen Freiräumen, erheblichen Unsicherheiten und hoher Lernintensität zusätzlich. Für die zumeist jungen, beruflich noch wenig erfahrenen Beschäftigten, die nicht selten zunächst über studienbegleitende Praktika oder Werksstudierendentätigkeiten rekrutiert werden (Erlebach 2017), geht dies mit flexiblen, wenig regulierten Arbeitsweisen, großen Mitgestaltungsmöglichkeiten und einer Arbeitskultur einher, die durch enge Kooperationsbeziehungen geprägt ist, in denen die Grenzen zwischen Arbeit und freier Zeit durchlässig sind und freundschaftliche Beziehungen gepflegt werden. Zudem sind familiär-lebensweltliche Verpflichtungen vielfach (noch) weniger stark ausgeprägt, Erwartungen in Bezug auf Einkommen und Beschäftigungssicherheit (vorerst noch) weniger hoch (vgl. Fackler et al. 2021). Gerade für Start-ups in der Kreislaufwirtschaft ist dabei typisch, dass den Beschäftigten ökologische und auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Orientierungen auch in ihrer Arbeit wichtig sind. Neben dem Wunsch nach einer kollegialen, Gestaltungs- und Entwicklungsmöglichkeiten beinhaltenden Arbeitskultur, spielten in unseren Interviews auch Sinnzuschreibungen eine wichtige Rolle:

> *„Was ich aber festgestellt habe, war, [...]ich arbeite für ein Unternehmen, was wirklich nachhaltig ist. Was wirklich was tut dafür, dass Rohstoffe nicht verschwendet werden. Was wirklich was dafür tut, dass dieser Kreislauf geschlossen wird. […] ich habe eine ganz andere Sinnhaftigkeit in meiner Arbeit. Und ich trage das mit ganz viel Stolz nach draußen, dass ich da so ein Teil irgendwie davon bin.“*

Zentrale arbeitspolitische Herausforderung für Start-ups in der Kreislaufwirtschaft ist zunächst – wie für Start-ups generell – die Etablierung der hier knapp umrissenen Arbeitskultur. Dies verbindet sich für Viele jedoch mit Sinnzuschreibungen bezogen auf ökologische Ziele. Gerade bei der Rekrutierung von Fachkräften, für das Engagement in der Arbeit und nicht zuletzt die Bindekraft von Start-ups spielen diese Aspekte eine wichtige Rolle. In den von uns untersuchten Betrieben richteten sich die konkreten Erwartungen der Beschäftigten noch recht wenig auf Fragen der Formalisierung von organisatorischen Abläufen und Strukturen, obwohl die zukünftige Notwendigkeit durchaus präsent war. Wichtig als weitere arbeitspolitische Herausforderung waren externe Kooperationen im jeweiligen Arbeitsbereich und der Aufbau von Netzwerken mit relevanten Akteuren aus den Bereichen Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Verbände.

2.2 Kontrastfälle: Elektrorecycling und Chemisch-metallurgische Industrie

Bei unseren Fallstudien im Elektrorecycling und der Chemisch-metallurgische Industrie handelt es sich um langjährig etablierte Unternehmen mit deutlich höheren Beschäftigtenzahlen von bis zu mehreren Hundert Beschäftigten.

In den ***Recyclingbetrieben*** sind überwiegend eher niedrig qualifizierte Beschäftigte zu finden, die die typischen Merkmale von Einfacharbeit (Abel et al. 2014) aufweisen: Die berufsfachlichen Anforderungen sind eher gering, konkretes Wissen über die Besonderheiten der Tätigkeit und der „Produkte“ sowie Aufmerksamkeit, Gewissenhaftigkeit und Arbeitseinsatzflexibilität spielen jedoch eine erhebliche Rolle. Arbeitsbezogenes Erfahrungswissen ist daher wichtig und die Betriebe bemühen sich

um eine möglichst stabile Belegschaft. Eine große Bedeutung haben zudem fachlich und menschlich gute Führungskräfte, die die Arbeit vor Ort koordinieren und mit den sozial meist recht heterogenen Belegschaften umzugehen wissen. Kontinuität der Belegschaft, Wissensvermittlung und die Weitergabe von Informationen sowie die Qualität von Vorgesetzten sind daher wichtige arbeitspolitische Herausforderungen. Die Arbeitsbedingungen in der durchweg noch händischen Zerlegung von Elektroaltgeräten sind geprägt durch anstrengende und in Teilen gefährliche körperliche Arbeit: aufgrund von Brandgefahr (Akkus) oder durch potentiell giftige Stoffe. Angesichts der Arbeitsbedingungen und der meist geringen Entgelte ist die Bindekraft der Arbeit eher gering. Da es sich um eine Wachstumsbranche handelt, ist das Halten der bestehenden Belegschaft und die Gewinnung von neuen Arbeitskräften eine erhebliche arbeitspolitische Herausforderung. Das Imageproblem der Branche (Abfallwirtschaft) ist hierbei nicht hilfreich, anders als bei den Start-ups spielen ökologische Orientierungen und darauf aufbauende Sinnsetzungen gegenüber den materiellen und sozialen Bedingungen der Arbeit bislang aber allenfalls eine untergeordnete Rolle. Die Verbesserung der Arbeitsbedingungen, menschlich gute Führung und Investitionen in die Zusammenarbeit und das soziale Klima im Betrieb insgesamt erscheinen demgegenüber sehr viel aussichtsreicher und arbeitspolitisch prioritär.

Nochmals anders stellen sich arbeitspolitische Herausforderungen in der ***Chemisch-metallurgischen Industrie*** dar, wo in der Produktion überwiegend Facharbeiter eingesetzt sind, bei denen neben Fachwissen auch langjährige Erfahrung mit den jeweils spezifischen Produktionsprozessen und meist hochtechnisierten Anlagen eine große Rolle spielt. Fachkräfte- und vor allem Nachwuchsmangel ist auch hier verbreitet und eine Herausforderung, die anders als im Recyclingbereich jedoch weniger aufgrund des Entgeltniveaus besteht, sondern in erheblichem Maße auf die in der Branche übliche Schichtarbeit zurückzuführen ist. Auch in diesen Fällen wird diskutiert, dass ein stärkerer Fokus auf Kreislaufwirtschaft förderlich für die Rekrutierung und Bindung von Beschäftigten sein könnte, zumal die Chemische Industrie traditionell als ökologisch besonders kritikwürdig und wenig attraktiv galt. Dies dürfte jedoch nur begrenzt erfolgreich sein. Angesichts der typischen Arbeitsorientierungen der Beschäftigten in dieser Branche halten wir einen noch stärkeren Fokus auf fachliche Aspekte der Arbeit, berufliche Entwicklungsmöglichkeiten und mehr Mitgestaltung bei der Optimierung und Weiterentwicklung von Verfahren und Anlagen für aussichtsreicher. In dem Maße, wie Kreislaufwirtschaftsprinzipien in den Betrieben eine größere Rolle spielen, könnte die hiermit verbundene Notwendigkeit der Weiterentwicklung von fachlichen Kompetenzen, von fach- und funktionsübergreifenden Formen der Zusammenarbeit zur Weiterentwicklung von Verfahren und Prozessen eine deutlich sinnvollere Gestaltungsperspektive sein.

3. Fazit: Sozialpartnerschaft und Arbeitspolitik

Schon dieser knappe Einblick zeigt, dass die arbeitspolitischen Herausforderungen und Gestaltungsperspektiven der Kreislaufwirtschaft überaus differenziert sind. Ein uneinheitliches Bild zeigt sich auch bei der Rolle und Bedeutung von Sozialpartnerschaft. Während die Chemische Industrie nach wie vor über etablierte und handlungsfähige sozialpartnerschaftliche Akteure verfügt, sind die Bedingungen in der Recyclingwirtschaft besonders heterogen: Sozialpartnerschaftliche Strukturen

existieren hier überbetrieblich wie betrieblich nur in Teilbereichen. Die Verbandslandschaft ist vielfältig, in unseren Untersuchungsfällen waren bspw. unterschiedliche Gewerkschaften aktiv und nicht alle Betriebe verfügten über Betriebs- bzw. Personalräte. Aufgrund von Betriebsgröße, Alter der Unternehmen, aber auch angesichts der Gewerkschaftsferne der akademisch geprägten Belegschaften spielen kollektive betriebliche oder gewerkschaftliche Vertretungsstrukturen in den Start-ups nahezu keine Rolle (vgl. Eichhorst et al. 2024). Arbeitgeberseitig existieren zudem nur schwache Verbandsstrukturen und für die Gewerkschaften spielen Start-ups als Betriebstyp nahezu keine Rolle. Auch wenn die Sozialpartner die Förderung der Kreislaufwirtschaft industriepolitisch unterstützen und zunehmend mit Initiativen begleiten (z.B. IG BCE 2025): Arbeitspolitisch werden die jeweils heterogenen arbeitsbezogenen Herausforderungen der Kreislaufwirtschaft von den Sozialpartnern bislang wenig aufgegriffen und bearbeitet, sondern allenfalls unter dem Gesichtspunkt Beschäftigungssicherung thematisiert. Die Potentiale von aktiv durch die Sozialpartner koordinierten und vorangetriebenen arbeitspolitischen Initiativen zur Stärkung und Erweiterung von Kreislaufwirtschaft bleiben daher bislang wenig genutzt.

4. Literatur

Abel J, Hirsch-Kreinsen H, Ittermann P (2014) Einfacharbeit in der Industrie. Strukturen, Verbreitung und Perspektiven. Berlin: edition sigma.

Altendorf A, Kuhlmann M (2025) Digitalisierung interaktiver Arbeit: Anforderungen an Gestaltungsprozesse am Beispiel Jobcenter. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaften (Hrsg.) Arbeit 5.0: Menschzentrierte Innovationen für die Zukunft der Arbeit, Aachen: GfA Press, 761-767

BDE (2025) Begleitende Stellungnahme des Bundesverbands der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Kreislaufwirtschaft e.V. zur Konsultation zum Rechtsakt über die Kreislaufwirtschaft.

BertelsmannStiftung (2025) Re:use Re:think Re:volution. Das Manifest für zirkuläres Wirtschaften. Gütersloh. DOI: 10.11586/2025053.

BMUKN (2025) Aktionsprogramm der Bundesregierung zur Umsetzung der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie.

Cantamessa M, Gatteschi V, Perboli G, Rosano M (2018) Startups' Roads to Failure. Sustainability 10. DOI: 10.3390/su10072346.

Dustmann C, Fitzenberger B, Schönberg U, Spitz-Oener A (2014) From Sick Man of Europe to Economic Superstar: Germany's Resurgent Economy. Journal of Economic Perspectives 28:167–188.

Eichhorst W, Füner L, Gottschalk S, Rinne U (2024) Bedeutung von Betriebsräten in Start-up-Unternehmen. Berlin: Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS).

Erlebach L (2017) European Startup Report 2017. cdn.joblift.com/m/img/0c4f55d0-bd87-11e7-ba42-ebce9fce8a6a-European%20Startup%20Report.pdf accessed Jan 16, 2026.

Fackler D, Hölscher L, Schnabel C, Weyh A (2022) Does working at a start-up pay off? In: Small Bus Econ 58:2211–2233. DOI: 10.1007/s11187-021-00508-2.

Hirschfeld A, Gilde J, Walk V (2025) Deutscher Startup Monitor 2025. Berlin: Bundesverband Deutsche Startups e.V.

IG BCE (2025) Branchenpolitische Forderungen zur Kreislaufwirtschaft.

Kirchherr J, Yang N, Schulze-Spüntrup F, Heerink M, Hartley K (2023) Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. Resources, Conversation & Recycling 194. DOI: 10.1016/j.resconrec.2023.107001.

Prognos AG, INFA GmbH (2024): Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2024.

Ritter M, Schilling H, Brüggemann H, Fröhlich T, Goldmann D, Henze R, Kuhlmann M, Mennenga M, Mrotzek-Blöß A, Niemeyer J, Schmidt K, Spengler T, Sturm A, Vietor T, Woisetschläger D, Kauffeld S (2024) Towards achieving the sustainable development goals: a collaborative action plan leveraging the circular economy potentials. Gruppe. Interaktion. Organisation 55:175–187.

Wilts H (2023) *Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz am Beispiel der Automobilität. Berlin:* Stiftung Arbeit und Umwelt der IG BCE.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Werteorientierte Transformation: Pfade, Erfolgsfaktoren und Herausforderungen sowie Effekte von Wertearbeit

Vanessa KUBEK, Delia SCHRÖDER

Institut für Technologie und Arbeit e.V.
Eisenbahnstraße 40-42, D-67655 Kaiserslautern

Kurzfassung: Das Regionale Kompetenzzentrum der Arbeitsforschung KOMATRA unterstützt in Unternehmen der Automotive- und Medizin(technik-)Branche eine Transformation hin zu werteorientiertem Arbeiten und Lernen. Die begleiteten Transformationsprozesse starten i.d.R. mit einer Wertereflexion, die in eine kontinuierliche Wertearbeit überführt wird, mit Hilfe derer die Wettbewerbsfähigkeit und die Arbeitgeberattraktivität des Unternehmens sowie die Qualität der Arbeit erhöht werden sollen. Erste Erkenntnisse aus der Unternehmenspraxis zu derartigen Transformationsprozessen werden in dem Beitrag skizziert.

Schlüsselwörter: Transformation, Werteorientierung, Wertearbeit

1. Herausforderungen aktueller Transformationsprozesse

Aktuelle Transformationsprozesse in mittelständischen Unternehmen sind durch eine multiple Ausgangslage gekennzeichnet: Unternehmen müssen zugleich gesellschaftliche, digitale, ökologische, geopolitische und arbeitsweltliche Umbrüche bewältigen, die sich wechselseitig verstärken und in der Literatur als „polycrisis“ beschrieben werden (Rannenberg 2023). Studien zeigen hierbei außerdem, dass der „Mehrfachdruck“ aus Regulierung (z.B. Nachhaltigkeit/ESG), technologischer und sozialer Dynamik, Fachkräftemangel und Krisenerfahrungen nicht mehr mit Insellösungen zu bewerkstelligen ist, sondern eine grundlegende (Neu-)Justierung notwendig wird (Institut der deutschen Wirtschaft 2024, Deloitte 2024).

Beobachtbare und erforschte Transformationsansätze der letzten Jahre fokussieren vor allem Digitalisierung und Nachhaltigkeit und werden als Zwillings-Transformation beschrieben (Tabares et al. 2025, Rammer et al. 2025). Neuere europäische Debatten erweitern dieses Verständnis zur **„**Triple Transformation**“**, bei der neben der grünen und digitalen auch eine dezidiert soziale Dimension in den Blick genommen wird – also Herausforderungen der Teilhabe, Gerechtigkeit und des sozialen Zusammenhalts (OECD 2023).[23] Damit wird deutlich, dass mittelständische Unternehmen heute nicht nur technische und ökologische, sondern zugleich auch soziale und organisationale Anpassungsprozesse gestalten müssen, was den Orientierungsbedarf weiter erhöht und die Relevanz eines klaren normativen Rahmens, etwa in Form einer expliziten Werteorientierung, zusätzlich unterstreicht.

Die Gestaltung einer werteorientierten Transformation und eines werteorientierten Arbeitens bieten hierfür einen Lösungsansatz, da gemeinsam geteilte Werte im Unternehmen Orientierung, Kohärenz und Handlungsfähigkeit in komplexen

[23] In Teilen der Industrie- und Managementliteratur wird die dritte Säule hingegen mit „Resilienz“ überschrieben und betont die Fähigkeit von Unternehmen und Wertschöpfungsnetzwerken, Krisen (Lieferketten, Geopolitik, Klima) zu absorbieren und anpassungsfähig zu bleiben (von See et al 2024).

Veränderungslagen stärken können (König et al. 2022; Wertekommission 2023). Eine aktive Auseinandersetzung und Entwicklung von Organisationswerten kann somit als „Kompass“ dienen, um strategische Entscheidungen konsistent auszurichten und Transformationspfade zu gestalten (Bertelsmann Stiftung 2022a).

Diese Perspektive lässt sich in mehrere aktuelle Diskurslinien der Organisations- und Transformationsforschung einordnen. Sie knüpft an Debatten zu wertebasierter und ethischer Führung sowie zu „Purpose“ bzw. Sinnorientierung in der Arbeit an, in denen Werte als zentrale Referenzpunkte für verantwortliches Führungshandeln, Integrität und die Ausrichtung von Organisationen an gesellschaftlichen Erwartungen begriffen werden (Brown & Treviño 2006; Fröhlich & Knobloch 2021). Eng verbunden damit sind Diskussionen zur Transformation des Arbeitens – etwa New Work, hybride Arbeit und flexibilisierte Arbeitsformen – die zeigen, wie veränderte Arbeitsbedingungen, Autonomie- und Partizipationsansprüche sowie Sinn- und Nachhaltigkeitserwartungen von Beschäftigten als Treiber wertebezogener Umbrüche in Organisationen wirken können (Stiglbauer 2022, Pangert et al 2018).

Der im Projekt KOMATRA verfolgte Ansatz zur Erforschung und Transformationsbegleitung hin zu werteorientiertem Arbeiten und Lernen in Unternehmen bzw. Organisationen setzt hier an. Dabei wird unter „Transformation“ ein aktiv zu beeinflussender Vorgang in Unternehmen verstanden, der gravierende Umbauprozesse einschließt und sowohl Strategien, geteilte Werte, Strukturen, Prozesse als auch und Formen des Führens und Zusammenarbeitens umfasst (vgl. auch Van Tonder 2004, Canterino et al 2018). Im Folgenden werden Praxisbefunde zu „Transformationspfaden“ in den begleiteten Unternehmen skizziert und diskutiert.

2. Methodisches Vorgehen

Nach der Hälfte der Förderlaufzeit wurden im Sommer 2025 in den im Projekt KOMATRA integrierten Unternehmen 16 leitfadengestützte Interviews geführt, um im Sinne eines Zwischenfazits folgenden Forschungsfragen auf den Grund zu gehen:

- Welche Rolle spielten Werte beim Start der Transformation? Wie wurde der Transformationsprozess gestaltet?
- Welche Einflussfaktoren waren im Kontext werteorientierter Transformation förderlich, welche hinderlich?
- Welche Bedeutung kommt einem werteorientierten Führungsstil und Partizipation im Kontext unternehmerischer Transformation zu?
- Welche konkreten Effekte sind bisher mit der Transformation hin zu werteorientiertem Arbeiten verbunden?

Die 16 Befragten stammen aus sieben Unternehmen; es handelt sich um Geschäftsführende, Führungskräfte oder um Projektleitungen. Die Interviews dauerten durchschnittlich 60 Minuten und wurden audiographisch aufgezeichnet und transkribiert. Zur Gewährleistung der Anonymität wurden alle personenbezogenen Angaben anonymisiert. Die Transkripte wurden mit der Software MAXQDA codiert. Zur systematischen Analyse der erhobenen Daten wurde die Methode „Qualitative Inhaltsanalyse“ nach Mayring (Mayring 2010) herangezogen. Der Kodierprozess umfasste mehrere Iterationsschleifen: induktive Kategorienentwicklung auf Basis des empirischen Materials (Mayring 2010 und 2000) sowie die Ergänzung einzelner Kategorien auf Basis der Forschungsfragen (deduktiv) und eine „Rücküberprüfung des Kategoriensystems an Theorie und Material“ (nach Mayring 2010). Anschließend erfolgte die Revision, Verdichtung und finale Definition des Kategoriensystems sowie

eine Zuordnung der einzelnen Kategorien zu KOMATRA-Forschungsfragen und die Extrahierung der codierten Segmente. Die Interpretation der Ergebnisse zielte darauf ab, zentrale Muster, Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Aussagen der Befragten herauszuarbeiten.

3. Werteorientierung als Einstieg in die Transformation

Werteorientierung kann in Unternehmen als Einstieg in organisationale Transformation dienen, indem zunächst ein gemeinsamer Dialog darüber angestoßen wird, welche Werte die Zusammenarbeit und die Führung im Unternehmen prägen und welche künftig leitend sein sollen. In weiteren, durch das KOMATRA-Forschungsteam moderierten Workshops wurden Werte in konkrete Verhaltensprinzipien übersetzt und in Führungsleitlinien, Teamregeln sowie zentrale Prozesse integriert. Die Initiierung von „Wertearbeit“ sowie die bewusste Wertereflexion im Hinblick auf Zusammenarbeit und Führung im Unternehmen kann dabei als bewusster Startpunkt einer wertebasierten Transformation verstanden werden, bei der Deutungsmuster, Beziehungen und Entscheidungen hinterfragt und neu ausgerichtet werden.

Alle Unternehmen und Organisationen im Projekt hatten sich anfangs darauf verständigt, werteorientiertes Arbeiten und Lernen in den Mittelpunkt ihrer Unternehmensentwicklung zu stellen. Die Bestandsaufnahme zeigte jedoch, dass je nach Ausgangslage unterschiedliche Kontextfaktoren relevant sind, die die Transformationsgestaltung beeinflussen. Vier von sieben Unternehmen sind mit einer Wertereflexion und -explizierung – wie oben beschrieben – in den begleiteten Transformationsprozess eingestiegen. Der entscheidende Transformationsimpuls entstand, als Werte konsequent in Führungs- und Teampraktiken übersetzt wurden, etwa in Entscheidungsregeln („Wie entscheiden wir wertebasiert?“), bei Führungsinstrumenten („Wie übersetzen wir unsere Werte in konkrete Praktiken?“), Meetingkultur, Feedback oder Konfliktklärung. Wichtig war, Prozesse und Alltagspraktiken schrittweise an den vereinbarten Werten zu spiegeln und daran auszurichten, damit Wertearbeit über symbolische Effekte hinausgeht und tiefgreifende Veränderungen i.S. einer Transformation stattfinden kann.

4. Transformationspfade und Einflussfaktoren

De facto lassen sich aus den Ergebnissen der prozessbegleitenden Interviews zwei unterschiedliche Transformationsstrategien bei den in KOMATRA geförderten Unternehmen und Organisationen ableiten: Ein Teil hielt es für sinnvoll, mit der Wertereflexion zu starten und diese als Orientierungsgrundlage für alle weiteren strategischen Schwerpunkte zu nehmen. Der andere Teil empfand das Thema „Werte“ als zu abstrakt für den Einstieg und wählte stattdessen den Weg über ein konkretes Thema, das im Rahmen der Unternehmenswerte jedoch von besonderer Bedeutung ist. Auffällig ist, dass es sich bei zwei der drei Unternehmenspartner, die mit konkreten Themen gestartet sind, um große Organisationen handelt. Sie beschreiben in den Interviews, dass es bei ihrer Unternehmensgröße wichtig sei, Mitarbeitende über konkrete Maßnahmen zu involvieren, die unmittelbar ihre Arbeitsprozesse betreffen.

So hat sich eine Klinik ausgehend von ihrem Wert „Nachhaltigkeit“ dazu entschieden, unter der Überschrift „Verbesserung der Logistik im Sinne von Kreislaufwirtschaft“ zwei konkrete Maßnahmen umzusetzen: Zum einen wurden

Kopfkissenbezüge, die jeden Tag in der Wäscherei gewaschen werden, durch abwaschbare Kopfkissen ersetzt. Ziel war, enorme Mengen an Wasser, Waschmittel und Transport- sowie Arbeitszeit zu reduzieren. Zum anderen wurden digitale Essensbestellmöglichkeiten eingeführt, um auf eine patientenorientiertere Essensbestellung, die mit deutlich weniger Lebensmittelverschwendung verbunden ist, umzustellen. Die Mitarbeitenden wurden dabei partizipativ eingebunden und um Rückmeldung gebeten. Auf Basis der Rückmeldungen wurden Verbesserungen initiiert (z.B. veränderte Größe der Bezüge), die durch die Mitarbeitenden als wertschätzend empfunden wurden.

In einem Unternehmen, das mit einer Wertereflexion gestartet ist, verlief der bisherige Transformationspfad dagegen wie folgt: In einem ersten Schritt wurden in einem partizipativen Prozess die Unternehmenswerte Zukunftsgewandtheit, Familiarität, Nachhaltigkeit, Eigenverantwortlichkeit und Wirtschaftlichkeit fokussiert. Diese Werte bildeten die Basis für eine Priorisierung vertiefender Maßnahmen, die die einzelnen Werte (oder mehrere gleichzeitig) und damit die Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit des Unternehmens stärken sollen. So wurden etwa mehrere Workshops mit Führungskräften durchgeführt, um Werteorientierung im Führungshandeln zu verankern. Von der Ebene der Führungskräfte erfolgte ein Wechsel in die Personalabteilung: Die Werte sollten sich in den Personalprozessen niederschlagen. Dazu wurde der Onboarding-Prozess werteorientiert gestaltet. Darüber hinaus wurden Prozessanalysen in Teamworkshops durchgeführt, die das Ziel hatten, die Eigenverantwortung und gleichzeitig die Effizienz (Wirtschaftlichkeit) in Prozessen zu erhöhen. Der Wert Nachhaltigkeit wurde durch Analysen untersetzt, inwiefern Innovationen im Produktentwicklungsprozess im Hinblick auf Kreislaufwirtschaft möglich sind. Ebenso wurde die Nachhaltigkeit in der Lieferkette analysiert.

Maßnahmen der Wertereflexion und Transformationsschritte, die von Werten abgeleitet sind bzw. sich an diesen orientieren, werden in KOMATRA als unternehmerische Wertearbeit bezeichnet. Im Rahmen der Wertearbeit, so ein zentraler Befund, ist es wichtig - in Einklang mit der Wertreflexion selbst - unmittelbar daran anknüpfende Maßnahmen zu identifizieren und hierdurch Verbesserungen zu erzielen. Dadurch wird eine Stimmigkeit zwischen fokussierten Unternehmenswerten und unternehmerischer Entwicklung erfahrbar. In mehreren Interviews wurde bestätigt, dass die Wertearbeit in dieser Form einen guten Rahmen für die Organisationsentwicklung bildet.

Als ein entscheidender Erfolgsfaktor im werteorientierten Transformationsprozess wurde in nahezu allen Interviews benannt, dass Führungskräfte die Werte in ihrem Handeln erkennen lassen und dadurch Identifikation sowie eine klare Orientierung für Weiterentwicklung stiften. In Verbindung hiermit ließen sich darüber hinaus die Elemente „Kommunikation“ und „Partizipation“ als relevante Erfolgsfaktoren für Transformation identifizieren. Umgekehrt wird als potentieller Hemmfaktor für Transformation eine fehlende Veränderungsbereitschaft im Unternehmen genannt, welcher jedoch durch eine partizipative Vorgehensweise abgemildert werden kann. Als Hemmfaktor relevant sind darüber hinaus vor allem fehlende Ressourcen – sei es fehlende Zeit, fehlendes Personal oder mangelndes Wissen, um Veränderungen in Zukunftsthemen kompetent voranzutreiben.

5. Effekte von Wertearbeit

Wenn es gelingt, die Transformation trotz vorhandener Hemmfaktoren oder Herausforderungen voranzutreiben, dann lassen sich bereits nach rund zwei Jahren Begleitung in den Unternehmen konkrete Effekte von Wertearbeit erkennen. So wird in den Interviews betont, dass durch die Maßnahmen unternehmerische Entwicklungsfelder werteorientiert fokussiert wurden, die eine große Veränderungsdynamik entfacht haben. Als Effekte werden positiv hervorgehoben: eine deutlich offenere, klarere, verbindlichere Kommunikation durch Führungskräfte (basierend auf Werten), in ihrem Führungshandeln gestärkte Führungskräfte, eine veränderte Kultur der Zusammenarbeit sowie „vereinte Teams“, eine kontinuierliche Reflexion, wo Verbesserungsbereiche liegen und weitere Maßnahmen initiiert werden sowie insgesamt mehr Zusammenhalt, Ruhe und Verständnis untereinander und für die Entwicklungsbedarfe des Unternehmens. Auf Basis derartiger Effekte lässt sich die vorläufige Schlussfolgerung ziehen, dass die Zukunfts- und Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen durch werteorientierte Transformation gestärkt wird.

6. Diskussion

Wissenschaftliche Arbeiten sowie Beratungsansätze für unternehmerischen Wandel aus den letzten zehn Jahren etwa zu „Purpose driven Organisation“ oder zu „New Work und nachhaltiger hybrider Arbeit“ zeigen, wie Werte (z.B. Autonomie, Verbundenheit, Sinn) in konkrete Arbeits- und Kollaborationsformen übersetzt werden können, um die Akzeptanz für notwendige, tiefgreifende Veränderungen zu erhöhen. Mit dem Begleit- und Forschungsansatz in KOMATRA werden hierfür Gelingensbedingungen und Gestaltungsoptionen in der Praxis erforscht und erprobt.

Werteorientierte Unternehmensführung, „Purpose“ oder Ansätze sinnstiftender Arbeit erhöhen die Veränderungsbereitschaft und Identifikation von Mitarbeitenden, weil diese ihren persönlichen Beitrag zum übergeordneten Unternehmenssinn verstehen und in diesem Kontext konkret Verantwortung übernehmen können (vgl. hierzu auch Santos 2025). Wenn Werte in vielfältigen Kontexten (Führung, Zusammenarbeit, Personalprozesse, Produktions- und Dienstleistungsprozesse) in konkrete Handlungsmuster „übersetzt“ werden, markiert dies den Übergang von punktuellen Initiativen zu einem umfassenden Transformationsprozess.

7. Literatur

Bertelsmann Stiftung (2022) Doppelte Transformationen: Wo verortet sich der Mittelstand? Blogbeitrag vom 19.07.2022. Online verfügbar unter: https://blogs.bertelsmann-stiftung.de/nachhaltige-wirtschaft/ (Abruf: 30.12.2025).

Bertelsmann Stiftung. (2022a) Unternehmensverantwortung im digitalen Wandel. Ein Debattenbeitrag zu Verantwortung, Innovation und Gemeinwohl. Bertelsmann Stiftung, Wittenberg-Zentrum für Globale Ethik. https://www.bertelsmann-stiftung.de/fileadmin/ files/user_upload/UN_ Verantwortung_im_digitalen_Wandel.pdf (Abruf: 30.12.2025

Brown M E, Treviño L K (2006) Ethical leadership: A review and future directions. The Leadership Quarterly, 17(6), 595–616.

Canterino F, Cirella S, Shani A B (2018) Leading organizational transformation: an action research study. Journal of Managerial Psychology, 33(1), 15-28.https://doi.org/10.1108/JMP-12-2016-0393 (Abruf: 05.01.2026)

Deloitte (2024) 2024 Global Human Capital Trends: Thriving beyond boundaries – Human performance in a boundaryless world. Deloitte Insights. https://www2.deloitte.com/content/

dam/insights/articles/glob176836_global-human-capital-trends-2024/DI_Global-Human-Capital-Trends-2024.pdf (Abruf: 05.01.2026)

Fröhlich A, Knobloch, T J (2021) Values-based leadership and organisational transformation: A systematic review. Journal of Business Ethics, 170(4), 765–789.

König C J, Graf-Vlachy L, Jonason, P K, Kühne S (2022) Der (Un)Sinn von Purpose: Theoriebasierte Ansätze zur Analyse eines populären Konstrukts. Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO), 53(3), 277–289. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9017405/ (Abruf: 05.01.2026)

Heidenreich S, Spieth P (2018) Managing disruptive business model innovation: The role of value orientation. Journal of Product Innovation Management, 35(5), 691–710

Institut der deutschen Wirtschaft (IW) (2024) Führung in der Transformation: Megatrends und Management als Motor des Wandels (IW-Report 19/2024). Köln: Institut der deutschen Wirtschaft. https://www.econstor.eu/bitstream/10419/289619/1/1885657455.pdf (Abruf: 05.01.2026).

Mayring P (2000) Qualitative Inhaltsanalyse. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, 1 (2) / 2000. https://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/1089/2383. Abruf: 14.10.2025

OECD (2023) Towards a Triple Transition: Strategies for Transformational European Development Action. Paris: OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/094322ba-en (Abruf: 29.12.2025)

Pangert B, Pauls N, Schüpbach H, Kleinmann M (2018) Contextual work design and employee innovative work behavior: When does autonomy matter? Frontiers in Psychology, 9, 2446. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02446 (Abruf: 05.01.2026)

Rammer C. et al. (2025) Green, digital or twin strategic orientation: What drives firms' transformation? Journal of Cleaner Production (online first). https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2444569X25002410 (Abruf: 30.12.2025).

Rannenberg A (2023) Enthüllt die multiple Krisensituation Defizite bei politischen und wirtschaftlichen Konzepten? Wirtschaftsdienst, 103(13), 957–964.

Santos S (2025) Make purpose real for employees. Harvard Business Impact / Harvard Business Publishing. https://www.harvardbusiness.org/insight/make-purpose-real-for-employees/. (Abruf: 29.12.2025)

Stiglbauer B (2022) Development of the New Work Values Scale (NWVS) and its relations to basic human values and work engagement. Doctoral thesis, Johannes Kepler University Linz. Verfügbar unter: https://epub.jku.at/download/pdf/8241047.pdf (Abruf: 30.12.2025).)

Tabares S et al. (2025) Twin transition in industrial organizations. Technological Forecasting and Social Change (online first). Online verfügbar unter: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162525000265 (Abruf: 30.12.2025).

von See B, Kersten W, Schwemmer M, Ladewig L.(2024) Trends und Strategien in Logistik und Supply Chain Management 2023/2024. Triple Transformation: Digitalisierung, Nachhaltigkeit und Resilienz als Leitlinien zukunftsfähiger Wertschöpfungsketten – eine Studie der Bundesvereinigung Logistik e. V. und der TU Hamburg. Bremen/Hamburg: Bundesvereinigung Logistik (BVL) e. V. https://www.bvl.de/files/1951/1988/2128/TuS2324_Studienbericht.pdf. (Abruf: 06.01.2026).

Wertekommission – Initiative Werte Bewusste Führung e. V. (2023) Führungskräftebefragung 2023: Werte und Führung in Zeiten multipler Krisen. Wertekommission. https://www.wertekommission.de/wp-content/uploads/2023/11/Fuehrungskraeftebefragung-2023.pdf (Abruf: 05.01.2026).

Realtime-Delphi für eine menschzentrierte Twin Transformation im Rheinischen Revier: Forschungsbedarfe, Potentiale und Hürden

Alexander MERTENS[1], Katharina SCHÄFER[1], Oliver BRUNNER[1], Florens BURGERT[1], Sebastian BOUSCHERY[2], Marina FECKE[3], Dominik MARTIN[3], Martin PERAU[3], Dirk LÜTTGENS[2], Jan BITTER-KRAHE[3], Holger BERG[3], Susanne MÜTZE-NIEWÖHNER[1], Frank PILLER[2], Verena NITSCH[1]

[1] Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen
Eilfschornsteinstr. 18, D-52062 Aachen
[2] Institut für Technologie- und Innovationsmanagement der RWTH Aachen
Kackertstr. 7, D-52072 Aachen
[3] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH
Döppersberg 19, D-42103 Wuppertal

Kurzfassung: Der Beitrag adressiert die Twin Transformation, getrieben durch Digitalisierung und zirkuläre Wirtschaft, im Rheinischen Revier mit Fokus auf die ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltige Gestaltung der Zukunft der Arbeit. Vorgestellt wird eine Real-Time-Delphi-Studie mit 94 Expert:innen, in der 17 Projektionen hinsichtlich Eintrittswahrscheinlichkeit und regionaler Relevanz bewertet wurden. Die quantitativen Ergebnisse zeigen eine hohe Relevanz zirkulärer, daten- und KI-gestützter Wertschöpfung sowie konkrete Handlungsfelder für eine regionalspezifische Forschungsagenda und menschzentrierte Transformationsroadmap.

Schlüsselwörter: Twin Transformation, Delphi-Studie, Rheinisches Revier, Partizipation, Menschzentrierte Arbeitsgestaltung

1. Einleitung

Die Unternehmen und Beschäftigten im Rheinischen Revier befinden sich in einem doppelten Transformationsprozess: Digitale Technologien – insbesondere KI, datengetriebene Plattformen und vernetzte Produktionssysteme – verändern Wertschöpfungsketten und Arbeitsorganisation grundlegend (Witts et al. 2022). Parallel dazu bewirkt der Übergang zu zirkulären, ressourcenschonenden Wirtschaftsweisen sowie zu sozial nachhaltigen und resilienten Beschäftigungsformen signifikante Veränderungen in Geschäftsmodellen, Prozessketten und Qualifikationsanforderungen (BMUV 2024). Diese „Twin Transformation“ ist im Rheinischen Revier aufgrund des beschleunigten Strukturwandels besonders ausgeprägt.

Eine solche Transformation kann nicht allein durch technologische Roadmaps oder politische Vorgaben gestaltet werden. Sie erfordert eine regionalspezifische und menschzentrierte Forschungsagenda, die von Wissenschaft, Unternehmen, Sozialpartnern, Verwaltung und weiteren regionalen Akteuren gemeinsam getragen wird (Götz et al. 2022). Insbesondere in einer Region mit hoher Migrationsdynamik, starkem Fachkräftebedarf und heterogenen Branchenstrukturen ist es zentral, unterschiedliche Perspektiven, z. B. von produzierenden KMU, Handwerksbetrieben, Plattformanbietern, Beschäftigtenvertretungen und Bildungsakteuren, systematisch einzubeziehen (Breul 2022).

Angesichts der hohen Unsicherheit über zukünftige technologische Entwicklungen,

Marktbedingungen und arbeitsorganisatorische Modelle erweist sich insbesondere die Entwicklung von Zukunftsprojektionen und -szenarien als ein zentrales Instrument zur strategischen Orientierung. Klassische quantifizierende Prognoseverfahren stoßen hier an Grenzen, da belastbare historische Daten für die spezifische Konstellation aus Digitalisierung, Kreislaufwirtschaft und regionalem Strukturwandel kaum vorliegen. Umso wichtiger ist es, das verteilte Expertenwissen unterschiedlicher Stakeholder im Rheinischen Revier und darüber hinaus systematisch zu bündeln.

Vor diesem Hintergrund zielt die durchgeführte Real-Time-Delphi-Studie darauf, die Twin Transformation im Rheinischen Revier ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltig sowie konsequent menschzentriert zu gestalten. Im Mittelpunkt stehen kleine und mittlere Unternehmen (KMU) und Handwerksbetriebe, da sie einerseits von den Umbrüchen besonders betroffen sind, andererseits aber zentrale Träger regionaler Innovations- und Beschäftigungsfähigkeit darstellen. (Goerke et al. 2024)

Der Beitrag verfolgt zwei Ziele: Erstens werden Konzeption und Durchführung einer Real-Time-Delphi-Studie als partizipatives, branchenübergreifendes Verfahren zur Entwicklung einer menschzentrierten Forschungsagenda vorgestellt. Zweitens werden die konkreten quantitativen Ergebnisse mit Fokus auf eine nachhaltige Zukunft der Arbeit im Rheinischen Revier präsentiert.

2. Methodik

Die Delphi-Methode ist ein etabliertes, strukturierendes Verfahren zur Einbindung von Expert:innen bei der Abschätzung zukünftiger Entwicklungen (Steinmüller 2017). Sie basiert auf der anonymen, mehrstufigen Bewertung von Zukunftsaussagen („Projektionen“) durch ein Panel, auf deren Grundlage ein – möglichst – belastbarer Konsens, aber auch begründeter Dissens sichtbar wird. Für die Twin Transformation im Rheinischen Revier ist diese Vorgehensweise besonders geeignet, da:

- technologische, ökologische, ökonomische und soziale Entwicklungen in komplexer Weise interagieren und klassische Trendextrapolationen unzureichend sind,
- eine Vielzahl von Stakeholdern mit spezifischer Expertise (z. B. Kreislaufwirtschaft, KI, Arbeitswissenschaft, Geschäftsmodellinnovation) beteiligt werden sollten,
- regionale Spezifika (Branchenstruktur, Fachkräftesituation, institutionelle Rahmenbedingungen) erfasst werden können,
- und der Prozess partizipativ und reflexiv gestaltet werden soll, um Akzeptanz für die Ergebnisse zu fördern.

Die konkrete Umsetzung als Real-Time-Delphi-Studie unterstützt diese Stärken (Piller et al. 2022): Durch eine webbasierte Plattform erhalten Teilnehmende nach jeder eigenen Bewertung unmittelbar aggregiertes Feedback zur bisherigen Gruppenmeinung und zu vorhandenen Kommentaren. Sie können ihre Einschätzungen im Lichte dieser Informationen iterativ anpassen, ohne auf formale „Runden“ warten zu müssen. Dies erhöht Effizienz und Attraktivität des Verfahrens, reduziert Drop-out-Raten und fördert die Auseinandersetzung mit abweichenden Sichtweisen. Mit diesem Design verbindet die Real-Time-Delphi-Studie quantitative und qualitative Datenerhebung und ermöglicht zugleich einen partizipativen Reflexionsprozess im Panel.

In einem ersten Schritt wurden in moderierten Workshops mit Vertreter:innen aus Wissenschaft und Praxis insgesamt 53 potenzielle Projektionen identifiziert, die relevante Entwicklungen in den Bereichen Digitalisierung und KI, ökologische Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft, neue Geschäftsmodelle und digitale Ökosysteme sowie

menschengerechte Arbeits- und Beschäftigungsformen adressierten. Diese Projektionen wurden in mehreren Feedbackschleifen inhaltlich gebündelt, Redundanzen reduziert und das Abstraktionsniveau harmonisiert, sodass die Quintessenz in 17 Projektionen kondensiert werden konnte.

*Zusammensetzung des Panels: A*usgehend von bestehenden Netzwerken wurden Expert:innen aus Industrie, Handwerk, Dienstleistungssektor, Wissenschaft, Beratung, Sozialpartner:innen und Verwaltung angesprochen, um ein möglichst breites Spektrum relevanter Perspektiven abzubilden und zugleich die spezifische Situation im Rheinischen Revier angemessen zu berücksichtigen. Das final zusammengesetzte Panel umfasste 94 Expert:innen. 78 der Teilnehmenden leben oder arbeiten im Rheinischen Revier und bringen damit eine „Innenperspektive“ ein; 16 Expert:innen stammen aus anderen Regionen und ergänzen diese um eine externe, vergleichende Sicht. 43 Personen waren primär in Unternehmen und Praxisorganisationen tätig, 51 in Forschung und Wissenschaft. Damit konnte eine heterogene, interdisziplinäre und zugleich regionalspezifische Wissensbasis für die Bewertung der Projektionen mobilisiert werden.

Umsetzung: Die Befragung wurde webbasiert über einen Zeitraum von rund zwei Wochen durchgeführt. Nach einer Einführung in Zielsetzung und Ablauf wurden die Teilnehmenden zunächst um einige soziodemografische und berufliche Angaben gebeten. Anschließend wurden die 17 Projektionen präsentiert. Für jede Projektion gaben die Expert:innen auf einer Skala von 0 - 100 % die geschätzte Eintrittswahrscheinlichkeit innerhalb von 5 Jahren, innerhalb von 10 Jahren sowie die Relevanz der Projektion speziell für das Rheinische Revier an. Zusätzlich wurde für jede Einschätzung die subjektive Sicherheit der eigenen Bewertung erfasst. In einem offenen Textfeld konnten qualitative Begründungen, Kontextinformationen und Hinweise eingetragen werden. Nach der initialen Bewertung einer Projektion wurden den Teilnehmenden unmittelbar aggregierte Ergebnisse in Form von Verteilungsdiagrammen sowie die anonymisierten Kommentare der bisherigen Teilnehmenden angezeigt. Auf dieser Basis konnten sie ihre Einschätzung beliebig oft überdenken.

3. Ergebnisse

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte der Real-Time-Delphi-Studie für alle 17 Projektionen im Hinblick auf die Eintrittswahrscheinlichkeiten für Zeiträume von 5 bzw. 10 Jahren sowie die Relevanz für das Rheinische Revier dargestellt. Zudem wurde jeweils der Interquartilsabstand als Streuungsmaß berechnet, um aufzuzeigen, wie ausgeprägt der Konsens / Dissens innerhalb des Expert:innenpanels war. In Abbildung 1 wurden die Mittelwerte der Wahrscheinlichkeiten der 17 Projektionen differenziert für beide Zeiträume gegen die Relevanz im Rheinischen Revier in einem Koordinatensystem aufgetragen und erlauben so eine Identifikation von Ausreißern und Trends.

Tabelle 1: *Mittelwerte der Eintrittswahrscheinlichkeiten (0 - 100 %) für den 5 / 10-Jahreszeitraum [5a / 10a] und Relevanz für das Rheinische Revier [RR] sowie jeweils unterhalb der Interquartilsabstand [kursiv] der Projektionen (P1 - P17) absteigend nach der Relevanz sortiert.*

#	Projektion	5a	10a	RR	
1	Durch automatisierte Erfassung & Nutzbarmachung von Erfahrungswissen (kognitiv und physisch) können zielgerichtete Qualifizierungsmaßnahmen realisiert werden, die Fachkräftemangel in Industrie & Handwerk wirkungsvoll entgegenwirken.	51,9	70,3	74,1	
		35,0	*23,0*	*30,0*	
2	Durch KI können Benutzungsoberflächen situationsabhängig an die Kenntnisse der Nutzenden angepasst werden, etwa indem Alltagssprache für die Eingabe genutzt werden kann, was die Hürden der Techniknutzung senkt.	70,5	86,2	73,7	
		23,0	*19,5*	*30,0*	
3	Unternehmen, die Plattform- und Datenökosysteme erfolgreich nutzen, stärken ihre Marktposition, insbesondere im Bereich der Kreislaufwirtschaft, die sich zu einem zentralen Wachstumstreiber entwickelt.	59,4	73,9	72,3	
		22,0	*29,0*	*28,5*	
4	Geschäftsmodelle, deren Wertschöpfungslogik zirkuläre & nachhaltige Praktiken integrieren, erhöhen branchenübergreifend die Wettbewerbsfähigkeit.	58,3	74,8	72,0	
		22,0	*27,5*	*26,0*	
5	KI-basierte Tools und Methoden unterstützen Führungskräfte dabei, ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltige Strategien zu entwickeln und entsprechendes Verhalten im Unternehmen zu fördern.	60,6	74,9	70,0	
		40,0	*32,0*	*29,5*	
6	KI-Systeme werden eingesetzt, um Leistungsdaten in Echtzeit zu analysieren, Muster zu erkennen und eine objektive, umfassende Überwachung & Bewertung von Arbeitsprozessen und involvierten Akteuren zu ermöglichen.	58,2	77,0	68,9	
		32,5	*24,0*	*35,5*	
7	KI-gestützte Systeme helfen dabei, geeignetes Personal für ein spezifisches Jobprofil zu finden und einen individuellen Weiterbildungsbedarf aufgrund sich verändernder Rahmenbedingungen frühzeitig zu erkennen.	57,7	76,7	68,9	
		36,0	*34,0*	*29,0*	
8	Staatliche Förderprogramme und klare Regulatorik setzen gezielt Anreize, damit mehr in ökologisch & sozial nachhaltige Plattformökosysteme investiert wird.	48,3	60,1	67,8	
		38,5	*39,0*	*36,0*	
9	In unternehmens- und branchenübergreifenden Teams zirkulärer Wertschöpfungsketten kooperieren Menschen und KI, um produktiv und effektiv an der Umsetzung der Kreislaufwirtschaft zu arbeiten.	53,7	70,3	67,6	
		24,5	*26,0*	*34,6*	
10	Durch digitale Plattformen & multilokale Beschäftigungsmodelle können Fachkräfte ihre spezifische Expertise ortsunabhängig anbieten und z. B. temporär an (inter)nationalen Projekten arbeiten, ohne ihren aktuellen Wohnort aufgeben zu müssen.	63,4	77,0	66,1	
		38,5	*33,5*	*31,0*	
11	KI-Systeme führen dazu, dass menschliche Beschäftigte in kürzerer Zeit mehr Aufgaben erledigen müssen, wodurch die Arbeitsdichte und die Anforderungen an einzelne Personen steigen.	58,8	64,1	62,0	
		39,0	*47,0*	*34,5*	
12	Indem KI Routinetätigkeiten selbstständig übernimmt und eigenständig Vorschläge einbringt, reduziert sich die psychische Belastung der menschlichen Akteure in intensiven Arbeitssituationen.	47,7	56,7	59,8	
		46,5	*51,0*	*40,0*	
13	Kleine, mittlere und große Unternehmen nutzen den Digitalen Produktpass zum Speichern und Lesen produktrelevanter Daten und reduzieren damit die Anzahl der Informationssysteme deutlich.	44,8	62,2	59,6	
		39,0	*28,0*	*27,5*	
14	Multilokale Auftragsvergabe über Plattformen führt dazu, dass immer mehr kurzfristige Projektjobs entstehen, während stabile und langfristige Beschäftigungsverhältnisse abnehmen.	49,1	58,7	57,0	
		28,0	*39,0*	*39,0*	
15	Der Einsatz von AR und VR ist ein wichtiger Baustein für die Umsetzung von Kreislaufwirtschafts-Strategien wie Wartung, Reparatur und Wiederaufbereitung komplexer Produkte.	47,6	63,0	56,5	
		39,0	*40,0*	*32,0*	
16	Es gibt in Unternehmen weniger klassische Führungskräfte, sodass Entscheidungen in autonomen Mensch-KI-Teams selbstständig getroffen werden.	25,4	36,9	39,7	
		35,5	*40,0*	*42,0*	
17	KI weiß genau, was wir wollen und brauchen, sodass keine direkte Interaktion zwischen Mensch und Technik mehr notwendig ist.	14,8	23,9	32,3	
		18,0	*31,5*	*40,0*	

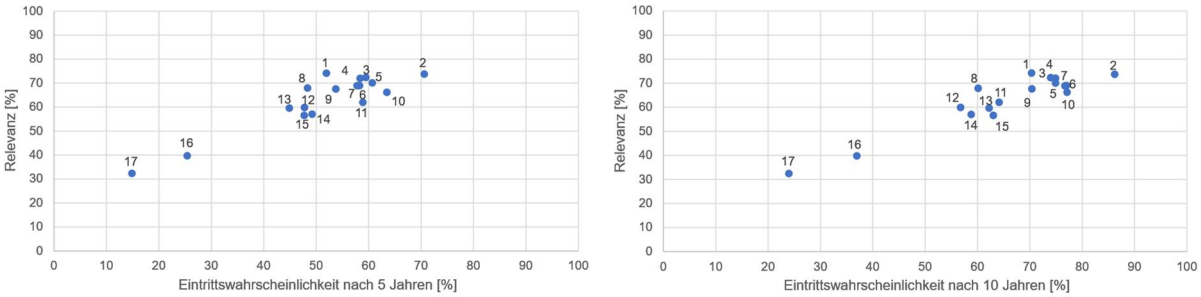


***Abbildung 1**: Visualisierung und Verortung der Mittelwerte der Eintrittswahrscheinlichkeiten für den 5-Jahreszeitraum (links) und den 10-Jahreszeitraum (rechts) auf der x-Achsen sowie der Relevanz für das Rheinische Revier auf der y-Achse für 17 Projektionen.*

4. Diskussion und Ausblick

Die Analyse der quantitativen Ergebnisse zeigt, dass die Expert:innen für die große Mehrzahl der in den Projektionen repräsentierten Themenfelder (außer P16 & P17) eine hohe bis sehr hohe Relevanz für das Rheinische Revier sehen. Diese Erkenntnis unterstreicht die zuvor beschriebene Komplexität der Twin Transformation in dieser Region, bei der es erforderlich ist, eine Vielzahl von Perspektiven und Implikationen zu berücksichtigen, um die Integration digitaler Technologien ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltig zu gestalten. Wie zu erwarten, steigt bei allen Projektionen die Eintrittswahrscheinlichkeit im 10-Jahreszeitraum im Vergleich zur Einschätzung für den 5-Jahreszeitraum, wobei eine gewisse Varianz der Zunahme festgestellt werden kann, z.B. für P1, P5, und P6, bei denen sich die Wahrscheinlichkeit jeweils um mehr als 18 % erhöht, während für P11, P14 und P17 die Veränderung unter 10 % liegt. In Abb. 1 zeigt sich ein entsprechender systematischer „Rechtsshift“, bei dem sich jedoch insbesondere an den Rändern die relativen Positionen zueinander nur im geringen Umfang verändern. Hierbei kann in Hinblick auf den Interquartilsabstand kein systematischer Effekt identifiziert werden, der sich als besonders stark ausgeprägter Konsens oder Dissens interpretieren ließe. Durch eine differenzierte Betrachtung der Projektionen können somit zeitpunktdifferenziert Themenfelder identifiziert werden, die im Rahmen einer menschzentrierten Forschungsagenda prioritär zu behandeln sind (Projektionen oben rechts: P1 bis P6 und P10) und die, die wegen geringer Relevanz und Eintrittswahrscheinlichkeit nachrangig betrachtet werden können (Platzierung unten links: P16 und P17). Thematisch kann konstatiert werden, dass insbesondere die Themen, bei denen eine holistische Sicht auf soziotechnische Wertschöpfungssysteme eingenommen wird (P1, P3 & P4) und die Vernetzung und Kollaboration menschlicher und technischer Akteure propagiert wird (P2, P5, & P6), innerhalb des Expert:innenpanels eine hohe bis sehr hohe Zustimmung erhalten haben und als sehr relevant eingestuft wurden. Bei diesen Projektionen war der Interquartilsabstand auch fast durchweg unterdurchschnittlich gering mit einem Mittelwert (MW) von 28,2 im Vergleich zum MW der gesamten Studie (33,1), was tendenziell auf einen Konsens bei der Bewertung hindeutet. Dagegen wurde für Projektionen, bei denen den technischen Akteuren (insbesondere KI) eine sehr große Autonomie und Entscheidungskompetenz zugesprochen wird (P16 & P17) eine sehr viel geringere Eintrittswahrscheinlichkeit für beide abgefragten Zeiträume geschätzt. Der MW der beiden Interquartilsabstände dieser Projektionen von 34,5 liegt hier tendenziell auch über dem Durchschnitt. Dies kann als Dissens in dem Sinne interpretiert werden, dass die Meinungen hier weiter ausei-

nander liegen. Ob dies dadurch verursacht wird, dass eine entsprechende Leistungsfähigkeit von Technologien aktuell noch nicht verfügbar und damit schwerer vorstellbar ist oder es sich eher um eine systematische Verzerrung im Sinne sozialer Erwünschtheit handelt, muss durch entsprechende Nacherhebungen z.B. in Form von Interviews eruiert werden.

Limitationen: Im Hinblick auf Limitationen für die Aussagekraft und Validität der Ergebnisse muss klar konstatiert werden, dass die Einschätzungen der Expert:innen eine Momentaufnahme aus dem November 2025 darstellen und diese sich durch veränderte Rahmenbedingungen kurzfristig ändern könnten. Weiterhin konnte durch die große Anzahl und Vielfalt der Perspektiven innerhalb des Panels die Diversität im Rheinischen Revier gut abgebildet werden, dennoch muss davon ausgegangen werden, dass die Perspektiven einiger Akteursgruppen, z. B. durch Sprachbarrieren oder fehlenden Zugang zur Studie, nicht adäquat abgebildet sind. Auch wenn die Delphi-Methodik ein etabliertes Werkzeug zur Konsensfindung ist, zeichnet sich (repräsentiert durch den Interquartilsabstand) ab, dass für einige Projektionen kein einheitliches Meinungsbild besteht und die Ergebnisse somit eher einen Konsent als einen Konsens repräsentieren.

Ausblick: Ausgehend von den Erkenntnissen werden in einem Folgeschritt erstrebenswerte Zukunftsbilder entwickelt, anhand derer konkret notwendige Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten abgeleitet werden können. Somit ist es möglich, aktiv die prospektive Gestaltung einer nachhaltigen Zukunft der Region in den Mittelpunkt zu stellen und hierbei u.a. die UN-Nachhaltigkeitsziele „Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum“ (SDG 8), „Industrie, Innovation und Infrastruktur“ (SDG 9) und „Nachhaltig produzieren und konsumieren“ (SDG 12) effektiv zu fördern.

5. Literatur

Breul M (2022) Strukturwandel im Rheinischen Revier: Eine Analyse der technologischen Diversifizierungspotenziale. Standort 46 (2), S. 84-90.

BMUV (2024) Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.

Goerke U, Kamlage J H, Pauß L (2024) Strukturwandel im Rheinischen Revier: Partizipation der Zivilgesellschaft zwischen Anspruch und Wirklichkeit. Ruhr-Forschungsinstitut für Innovationsund Strukturpolitik eV

Götz T, Berg H, Jansen M, Adisorn T, Cembrero D, Markkanen S, Chowdhury T (2022) Digital Product Passport: the ticket to achieving a climate neutral and circular European economy?.

Piller FT, Nitsch V, Lüttgens D, Mertens A, Pütz S, Van Dyck M (Hrsg.) (2022) Forecasting next generation manufacturing: digital shadows, human-machine collaboration, and data-driven business models. Springer Nature.

Steinmüller K (2017) Methoden der Zukunftsforschung: Langfristorientierung als Ausgangspunkt für das Technologie-Roadmapping. Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen, S. 29-46.

Wilts H, Lühr O, Bitter-Krahe J, Demandt M, Wilkskamp K, Kölmel R, Eiserbeck L (2022) Methodische Konzeption einer regionalen Ressourcenwende im Rheinischen Revier: Studie für den Revierknoten Ressourcen und Agrobusiness.

Förderhinweis: Die Studie fand im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojekt „KPTwinTrans4MAtion“ statt, das durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) im Rahmen der „Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Umsetzung des Investitionsgesetzes Kohleregionen im Rheinischen Revier, Bundesanzeiger vom 02.02.2024 (StG)“ (Förderkennzeichen: 03STK02) gefördert und vom Projektträger Jülich (PTJ) betreut wurde.

Connecting Minds: Digitaler Wissenstransfer zwischen Forschung und Praxis

Thu Ha Claudia VUONG[1], Pia STÜRZEBECHER[1], Ben MILEWSKI[2]

[1] Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung
Sandtorstr. 22, D-39106 Magdeburg
[2] Deutsches Institut für Erwachsenenbildung – Leibniz-Zentrum
für Lebenslanges Lernen e.V., Heinemannstraße 12–14, D-53175 Bonn

Kurzfassung: Der Wissensverlust und die steigenden Flexibilitätsanforderungen, die mit dem demografischen Wandel und der digitalen Transformation einhergehen, gefährdet vor allem kleine und mittelständische Unternehmen (KMU). Zur Unterstützung der KMU stellt der Beitrag die „CoCo-Plattform“ als ein ko-designtes Instrument vor, das Wissen standardisiert erfasst und über digital vernetzte Praxisbeispiele bereitstellt. Eine formative Evaluation bestätigt die hohe Akzeptanz und Relevanz, offenbart jedoch Potenziale bei der Verstetigung der Wissensbasis. Die Autorinnen und Autoren leiten daraus soziotechnische Handlungsansätze ab und zeigen die potenzielle Vermittlungsfunktion einer digitalen Plattform zwischen Forschung und Praxis auf.

Schlüsselwörter: Wissenstransfer, Transdisziplinarität, Digitalisierung, Partizipation, Soziotechnische Gestaltung

1. Einleitung

Die digitale Transformation der Arbeitswelt stellt Betriebe vor immense Herausforderungen. Um wettbewerbsfähig zu bleiben, sehen sich vor allem KMU kontinuierlich mit der rapiden Anpassung ihrer eigenen Prozesse an neue Technologien konfrontiert. Ohne die dazugehörige Expertise ist dieses Vorgehen jedoch ein riskantes Unterfangen, welches bei Misserfolgen oder Rückschritten zu enormen, finanziellen Verlusten führen kann. Sofern das nötige Wissen um die Technologie bereits im Unternehmen vorliegt, droht es vor dem Hintergrund des fortwährenden demografischen Wandels durch das Ausscheiden von Expertinnen und Experten verlorenzugehen. Schwer wiegt hier vor allem der Verlust von implizitem Erfahrungswissen, welches häufig personenbezogen und unzureichend dokumentiert ist, aber für die nachhaltige Bewältigung der technologischen Veränderungen entscheidend ist. Darüber hinaus gestaltet sich ebenso die Gewinnung von neuen Fachkräften mit dem passenden Know-how als zusehends herausfordernder, sodass die Betriebe mit rein innerbetrieblichen Maßnahmen zunehmend an ihre Grenzen stoßen und ihr Defizit mit alternativen Strategien kompensieren müssen. Um dem entgegenzutreten, können durch die Zusammenarbeit mit externen Institutionen aus der Praxis und Forschung fehlende Kompetenzen ergänzt und Lernprozesse beschleunigt werden. Der ausgeprägte Bedarf an solch unternehmensübergreifenden Lösungswegen für den Wissenstransfer wird hier deutlich.

2. Theoretische Bezüge und Stand der Technik

Im Rahmen soziotechnologischer Transformationsprozesse und interdisziplinärer Zusammenarbeit stehen Organisationen vor der Herausforderung, explizites und implizites Wissen nicht nur systematisch zu erfassen und nachhaltig nutzbar zu machen, sondern auch schneller zu mobilisieren und praxistauglicher zu machen. Vor diesem Hintergrund rücken die Gestaltung von Arbeitssystemen sowie bestehende Methoden und digitale Technologien des transdisziplinären Wissenstransfers in den Fokus der folgenden Betrachtung.

2.1 Nachhaltige Gestaltung von Arbeitssystemen

Die nachhaltige Gestaltung und Nutzung digitaler Wissensplattformen setzt ein Verständnis von Arbeit als soziotechnisches System voraus. Arbeitssysteme bestehen aus einem sozialen und einem technischen Teilsystem, die sowohl getrennt analysiert als auch gemeinsam gestaltet werden müssen (Ulich 2011). Wissens- und Erfahrungstransfer ist daher nicht als rein technische Funktion zu verstehen, sondern als Ergebnis des Zusammenspiels menschlicher, organisatorischer und technischer Faktoren.

Für die Analyse soziotechnischer Systeme hat sich der integrative Ansatz der Teilsysteme Mensch, Technik und Organisation (MTO) etabliert (Sydow 1985). Er betrachtet Gestaltungsebenen vom Unternehmen bis zum Individuum und zielt auf eine nachhaltige Ausgestaltung von Arbeitssystemen, insbesondere bei technologischen Innovationen, ab. Digitale Werkzeuge entfalten ihren Nutzen nur dann, wenn sie mit menschlichen Voraussetzungen, vorhandenen Erfahrungen und organisationalen Rahmenbedingungen abgestimmt sind.

Im Fokus des soziotechnischen Ansatzes steht die Gestaltung der Schnittstellen zwischen den Teilsystemen. Für den Wissens- und Erfahrungstransfer sind insbesondere drei Schnittstellen relevant (Keller et al. 2021): Die (a) Mensch–Technik-Schnittstelle betrifft die Interaktion mit digitalen Systemen und bietet Potenziale für eine menschzentrierte Gestaltung, etwa durch einfache Wissenseingabe oder adaptive Darstellung. Gleichzeitig bestehen Risiken durch Überkomplexität oder eine unzureichende Abbildung impliziten Wissens. Die (b) Mensch–Organisation-Schnittstelle beschreibt die Einbettung des Wissenstransfers in Rollen, Routinen und Anerkennungsstrukturen. Fehlende Ressourcen oder unklare Verantwortlichkeiten können die Nutzung digitaler Systeme deutlich einschränken. Die (c) Technik–Organisation-Schnittstelle umfasst das Gesamtsystem, in dem digitale Plattformen Wissensprozesse strukturieren. Ihre Wirksamkeit hängt entscheidend von der Integration in bestehende Arbeitsprozesse, Kommunikationsformen und Lernkulturen ab.

2.2 Bestehende Ansätze für den transdisziplinären Wissenstransfer

Der Wissenstransfer bildet eine zentrale Grundlage für organisationales Lernen und Innovationsfähigkeit. In der Praxis lassen sich sowohl traditionelle als auch digital gestützte Methoden zur Erhebung und Weitergabe von Wissen unterscheiden. Neben innerbetrieblichen Lernprozessen gewinnt insbesondere der *transdisziplinäre Wissenstransfer* zwischen Forschung und Praxis an Bedeutung. Dieser ist als dialogischer Prozess zu verstehen, in dem wissenschaftliche Erkenntnisse und

praktische Erfahrungen ko-kreativ zusammengeführt werden, um kooperativ eine gemeinsame Wissensbasis zu entwickeln (Keller et al. 2024; Dollhausen et al. 2025).

Im Gegensatz zu den zahlreichen Methoden wie beispielsweise Storytelling als narratives Verfahren (Erlach & Thier 2012) in Kombination mit digitalen Aufzeichnungstools (Motsoenyane & Luwes 2025), die sich für den Wissens- und Erfahrungstransfer etabliert haben, zeigt ein gezielter Blick auf digitale Technologien für den transdisziplinären Wissenstransfer eine deutliche Leerstelle.

Zwar existieren digitale Kommunikations- und Kollaborationsplattformen, diese sind jedoch überwiegend auf den unternehmensinternen Einsatz ausgerichtet oder fördern wie etwa „SocioHub“ (DGS 2025) ausschließlich die wissenschaftliche Fachgemeinschaft. Eine dedizierte Verfügbarmachung von Wissen für Unternehmen erfolgt hingegen meist in Form von strukturierten und medial aufbereiteten, bewährten Vorgehensweisen (engl. Best Practices) und Praxisimpulsen (Borowski et al. 2023). Diese dienen als Handlungsunterstützung für den betrieblichen Alltag, bieten allerdings lediglich eingeschränkte Möglichkeiten, um unmittelbar in den umfangreichen Dialog mit Forschenden zu treten.

Wissen liegt zudem sowohl explizit als auch implizit vor und ist häufig fragmentiert, kontextabhängig und schwer zugänglich. Technologische Ansätze wie semantische Suchsysteme oder KI-gestützte Assistenzsysteme adressieren jeweils nur Teilaspekte und können menschliche Erfahrung und Intuition nicht ersetzen (Reisach et al. 2025).

Insgesamt fehlt bislang ein integriertes digitales Werkzeug, das den kontinuierlichen transdisziplinären Wissenstransfer zwischen Forschung und Praxis systematisch unterstützt. Der Austausch bleibt daher stark von individuellen Initiativen abhängig. Aus dieser strukturellen Lücke ergibt sich der Bedarf an einer ganzheitlichen digitalen Lösung. Vor diesem Hintergrund wurde im CoCo-Projekt (Braun 2023) die sogenannte „CoCo-Plattform“ entwickelt, die den transdisziplinären Wissensaustausch zwischen Forschenden und Unternehmen bündeln und nachhaltig fördern soll.

3. Die CoCo-Plattform als Instrument für den digitalen Wissenstransfer

Die CoCo-Plattform (ZBW 2025) ist eine webbasierte Kommunikations- und Kollaborationsplattform, welche die Vernetzung von Agierenden Rund um die Arbeitsforschung fördert. Sie wurde partizipativ mit den Regionalen Kompetenzzentren der Arbeitsforschung (ReKodA) (BMFTR 2025) sowie ihren Partnerunternehmen entwickelt. Von themenbezogenen Austauschmöglichkeiten in Gruppenräumen über den Zugriff auf aktuelle, akademische Wissensbestände wie etwa die Tagungsbände der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (GfA) bis hin zu KI-gestützten Visualisierungen der Arbeitsforschungslandschaft bietet sie ihnen institutions- und disziplinübergreifend einen zentralen Ort für den direkten Dialog und Inspirationen (Dollhausen et al. 2025; Welz et al. 2025).

Als soziales Wissenschaft-Praxis-Netzwerk der Arbeitsforschung (Bernhard-Skala 2024), ermöglicht sie zudem auch nichtwissenschaftlichen Akteuren und Akteurinnen Zugang zu übertragbaren Erkenntnissen der Arbeitsforschung. Anhand von strukturierten und digital vernetzten Praxisbeispielen, die über ein Teilmodul auf der Plattform abrufbar sind, können beispielsweise KMU mit mangelnden Erfahrungen bewährte Vorgehensweisen von Mitstreitenden für die eigene Praxis entdecken und von ihnen profitieren. Das zugrundeliegende Konzept für den transdisziplinären Wissenstransfer stützt sich hierbei vor allem auf authentische Fallgeschichten und narrative Ansätze (Keller et al. 2024).

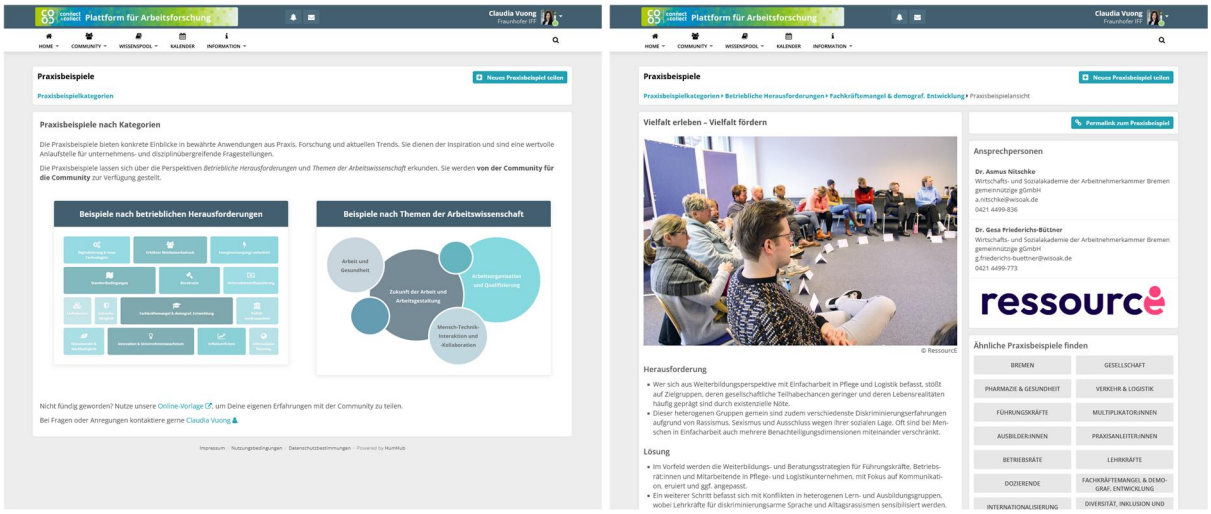


***Abbildung 1**: Links: Startansicht des Praxisbeispielmoduls auf der CoCo-Plattform. Rechts: Exemplarische Ansicht eines Praxisbeispiels auf der CoCo-Plattform.*

4. Ausgewählte Evaluationsergebnisse

Die Wirkung der CoCo-Plattform auf den Wissenstransfer und die Netzwerkbildung wurde mittels einer Mixed-Method Evaluation mit anonymisiertem Nutzungs-Tracking (n=357), einer mehrwöchig begleiteten Fokusgruppe (n=9) und einer mehrwelligen (drei Wellen alle 18 Monate) Fragebogenerhebung (n≈550) untersucht. Dabei fungierten verschiedene Vertretende der Akteursgruppen der ReKodA (unter anderem Forschungspartnerinnen und -partner, KMU, Großunternehmen) als Probandinnen und Probanden. Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse zu einzelnen Teilaspekten der Evaluation dargestellt.

Ein wesentlicher Aspekt der Untersuchung waren Kooperationen, welche über die Nutzung der Plattform als auch darüber hinaus entstanden. Hier wird die Kooperation im eigenen ReKodA über verschiedene Innovationsschritte hinweg von 45% bis 65% der Befragten als „nützlich“ oder „eher nützlich“ eingeschätzt. Dabei traut sich ein Großteil der Befragten (>75%) die Bewertung zu. Im Vergleich dazu wird die Kooperation mit anderen Kompetenzzentren von 40% der Befragten hauptsächlich als „neutral“ bis „eher nützlich“ bewertet, wobei 60% keine Einschätzung darüber treffen können. Hervorsticht vor allem der Nutzen der Kooperationsbeziehungen für die persönliche Lernerfahrung der Beteiligten, sowohl auf Ebene des eigenen ReKodA (70% „nützlich“ oder „eher nützlich“) als auch breiter in der Community. Als einer Kooperation zuträglichen Faktoren werden vor allem die Interdisziplinarität, die Bedeutung von Innovation im Unternehmen, eine Innovationskultur und einer Heterogenität der Projektpartner genannt. Während die Einstufung der meisten Faktoren tendenziell konstant bleibt, zeigt sich über die Projektlaufzeit eine Zunahme der Bedeutung der Interdisziplinarität und der Anzahl der Projektpartner.

Mit Blick auf die Praxisbeispiele auf der CoCo-Plattform zeigt sich, dass diese von den ReKodA besonders wertgeschätzt werden. Darüber hinaus wird den Praxisbeispielen auf der CoCo-Plattform eine hohe Relevanz für den Wissenstransfer und –austausch zwischen Praxis und Forschung zugesprochen, wobei die Nutzenden vor allem in der Rolle als Rezipientin bzw. Rezipient davon profitieren (Dollhausen et al. 2025).

Bezüglich der Bevölkerung der Plattform lässt sich ein konstantes Wachstum der Community feststellen. Im Vergleich zum Beginn der Messung im Frühsommer des Jahres 2025 (27.05.2025 bis 07.01.2026) wurden 107 Nutzende (über 30%) hinzugewonnen. Ein besonderes Aufwachsen der Anmeldungszahlen ist nach Implementierung weiterer technischer Teilmodule, und insbesondere im Nachgang an ein hybrides Transfer- und Netzwerksymposium der Förderlinie zu beobachten.

5. Ausblick

Durch technische Strukturen und digital vernetzte Praxisbeispiele schafft die CoCo-Plattform Voraussetzungen für eine standardisierte und zugleich kontextualisierte Wissenserfassung und -bereitstellung. Die Ergebnisse deuten dabei darauf hin, dass die CoCo-Plattform weniger durch alleinige, technische Funktionalität als vielmehr durch soziale und institutionelle Einbettung wirksam wird. An der Schnittstelle Mensch-Organisation ist sie erwiesen dazu in der Lage, Kooperationen sowohl innerhalb einer Organisation als auch insbesondere über die eigenen Organisationsstrukturen hinweg zu fördern und auf diese Weise die Vernetzung und damit auch den Wissenstransfer transdisziplinär zwischen Forschung und Praxis zu begünstigen. Die Befunde offenbaren jedoch ebenfalls unausgeschöpfte Potenziale in der Verzahnung der Plattform mit sozialen Routinen im Betrieb sowie der gemeinsamen Verstetigung der Wissensbasis zur Erhöhung der Nutzeffekte jenseits der eigenen Organisationsgrenzen. Entscheidend ist, die Plattform nicht als zusätzliche Anwendung, sondern als integralen Bestandteil der Arbeitspraxis zu etablieren.

Um die Vermittlungsfunktion der CoCo-Plattform als soziotechnische Brücke zu stärken, können sich Weiterentwicklungen im Zuge dessen entlang des MTO-Ansatzes orientieren. Um auch langfristig wissenschaftliche Erkenntnisse mit der betrieblichen Praxis zu vereinen, sind daher folgende Maßnahmen denkbar: Zur Optimierung der Schnittstelle Mensch–Technik können Hilfestellungen bei der Wissenseingabe über eigene Praxisbeispiele beispielweise über KI-Ansätze unterstützt werden (Stürzebecher et al. 2025), um die fehlenden Ressourcen zu kompensieren, welche sich als eine Barriere für die aktive Nutzung der Plattform herausstellte. Im Hinblick auf die Schnittstelle Mensch–Organisation kann der Dialog in Form von informellen Diskussions- und Beteiligungsformaten, welches regelmäßig ein Praxisbeispiel in den Fokus rückt, intensiviert werden.

6. Literatur

Bernhard-Skala C, Sonnenmoser A, Tombeil A S (2024) Digitale Plattformen als Enabler für hybriden Wissenstransfer. Das Entwicklungsprojekt Connect & Collect als Beispiel aus der Arbeitsforschung. In Schuster J, Hugo J, Bremm N, Kolleck N, Zala-Mesö E (Hrsg.) (2024) Wissensproduktion, Wissensmobilisierung und Wissenstransfer. Chancen und Grenzen der Entwicklung von Wissenschaft und Praxis. Verlag Barbara Budrich: 143-157.

Borowski E, Cernavin O, Hees F, Joerißen T (Hrsg.) (2023) Erfolgreicher Transfer in der Arbeitsgestaltung – wie Dienstleistungen zur präventiven Arbeitsgestaltung und Ergebnisse der Arbeitsforschung die Akteure in den Unternehmen wirkungsvoll erreichen. Waxmann.

Braun M (2023) Wissenstransfer durch plattformgestützte Vernetzung – Impulse des Projekts CoCo für die Arbeitsforschung. In: Borowski E, Cernavin O, Hees F, Joerißen T (Hrsg.) Erfolgreicher Transfer in der Arbeitsgestaltung – wie Dienstleistungen zur präventiven Arbeitsgestaltung und Ergebnisse der Arbeitsforschung die Akteure in den Unternehmen wirkungsvoll erreichen. Waxmann: 83-102.

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt – BMFTR (2025) Zukunft der Arbeit: Regionale Kompetenzzentren der Arbeitsforschung | Zukunft der Wertschöpfung. Aufgerufen am 16.01.2026. https://www.zukunft-der-wertschoepfung.de/zukunft-der-arbeit-regionale-kompetenz-zentren-der-arbeitsforschung-2/

Deutsche Gesellschaft für Soziologie (2025) DGS - Deutsche Gesellschaft für Soziologie: SocioHub. Aufgerufen am 16.01.2026. https://soziologie.de/sociohub

Dollhausen, K, Braun, M, Milewski, B (2025) Wissenstransfer in der Arbeitsforschung partizipativ und kooperativ – Angebote und Nutzenaspekte der CoCo-Plattform. In: Arbeit 5.0: Menschzentrierte Innovationen für die Zukunft der Arbeit, Tagungsband GfA-Frühjahrskongress 2025. St. Augustin: GfA-Press.

Erlach C, Thier K (2012) Aus Geschichten lernen. Erfahrungswissen sichern mit Storytelling. In: personalmanager – Zeitschrift für Human Resources, 6:42-44. https://www.narrata.de/wpcontent/uploads/NARRATA_storytelling_personal-manager_06-2012.pdf

Keller, A, Selinski, A, Vuong, C, Haase, T (2024) Stakeholderspezifische Zugänge zu arbeitsgestalterischen Inhalten – technisch-didaktische Konzeption und erste Erkenntnisse in der Arbeitsforschung. In Arbeitswissenschaft in-the-loop: Mensch-Technologie-Integration und ihre Auswirkung0 auf Mensch, Arbeit und Arbeitsgestaltung, Tagungsband GfA-Frühjahrskongress 2024. St. Augustin: GfA-Press.

Keller, T, Bayer, C, Metternich, J, Saki, M, Schmidt, S, Sträter, O, Anlauft, W, Hartwich, HD (2021) Integration eines digitalen Assistenzsystems für die industrielle Montage. In: Jeske, T, Lennings, F (Hrsg.) Produktivitätsmanagement 4.0. ifaa-Edition. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag:115-146.

Motsoenyane, M, Luwes, N (2025) Assessing the Impact of Tacit Knowledge Transfer through Storytelling in Educational Settings. 29(4):4455–4476.

Reisach, U, Nakhosteen, CB, Erlach, C, Orians, W (2025) Wissenstransfer bei Fach- und Führungskräften. Erfahrungswissen erfassen und weitergeben (2. Aufl.). München: Carl Hanser Verlag.

Stürzebecher, P, Herzog, H, Richter, C, Haase, T (2025) Von alten Hasen lernen: Methoden und Technologien für einen KI-gestützten Erfahrungstransfer. In: Auf zu neuen Horizonten: Mit KI grenzenlos denken und gemeinsam handeln. Tagungsband Instandhaltungsforum 2025. http://dx.doi.org/10.17877/DE290R-25408

Sydow, J (1985) Der soziotechnische Ansatz der Arbeits- und Organisationsgestaltung. Frankfurt: Campus.

Ulich, E (2011) Arbeitspsychologie. 7. Auflage. Zürich, Stuttgart: vdf- Hochschulverlag, Schäffer-Poeschel.

Welz, J, Trela, K, Achkar, P, & Murugboopathy, S (2025) KI-gestützte Themenlandkarte der Arbeitsforschung: Ein Kompass für die Zukunft der Arbeit? In Arbeit 5.0: Menschzentrierte Innovationen für die Zukunft der Arbeit, Tagungsband GfA-Frühjahrskongress 2025. St. Augustin: GfA-Press.

ZBW – Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft (2025) CoCo – Die Plattform der Arbeitsforschung. Aufgerufen am 16.01.2026. https://www.coco.zbw.eu/

Förderhinweis: Das Projekt »CoCo – Connect & Collect« (www.coco-projekt.de) wird im Rahmen Programms »Zukunft der Wertschöpfung. Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit« vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) unter dem Kennzeichen 02L19C000ff gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Gig-Work im Fokus: Eine netnographische Analyse der Bedürfnisse und Anforderungen im Plattformsektor in Deutschland

Katharina SCHÄFER, Carsten SCHIFFER, Maja SCHAUB, Verena NITSCH, Alexander MERTENS

Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen
Eilfschornsteinstr. 18, D-52062 Aachen

Kurzfassung: In den letzten Jahren hat Gig-Work, bei der Dienstleistungen online vermittelt und vor Ort erbracht werden, deutlich an Relevanz gewonnen – dennoch ist dieser Arbeitsbereich in Deutschland bislang noch wenig arbeitswissenschaftlich erforscht. Zur Erfassung der Arbeitsbedingungen von Gig-Worker:innen sowie ihren Bedürfnissen bei der Ausübung der Tätigkeiten wurde daher eine netnographische Analyse von Online-Communities durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen auf, dass Gig-Worker:innen eine Vielzahl von Aspekten an ihrer Tätigkeit schätzen, insbesondere die zeitliche Flexibilität. Dennoch zeichnen sich auch erhebliche Herausforderungen ab, u. a. in Bezug auf finanzielle Unsicherheiten und fehlende soziale Absicherungen. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurden Thesen abgeleitet zur wirksamen Verbesserung der Arbeitsbedingungen im Gig-Work Bereich.

Schlüsselwörter: Netnographie, Gig-Work, Plattformarbeit, Social-Media, Online Communities, Qualitative Forschung

1. Einleitung

Seit den 2020er Jahren werden Plattformen in Deutschland intensiv politisch, wirtschaftlich und gesellschaftlich diskutiert, insbesondere hinsichtlich der prekären Arbeitsbedingungen von standortgebundener Gig-Work. Diese Form der Gig-Work umfasst individuelle Dienstleistungen, die über das Internet angeboten und an einem bestimmten Ort erbracht werden (Bertelsmann Stiftung, 2019). Die teilweise ungeklärten rechtlichen Beschäftigungsbedingungen und -formen, die fehlenden gesetzlichen Regulierungen und die potentielle Belastung von Arbeitspersonen der ortsgebundenen Gig-Work können dazu führen, dass Einkommenseinbußen, Altersarmut, gesundheitliche Schäden sowie verringerte Karrierechancen gefördert werden (Schäfer, 2024; Schäfer et al., 2022). Entsprechend ist es dringlich erforderlich, die Bedürfnisse und Bedarfe dieser Arbeitspersonen empirisch und fundiert zu erheben, damit Maßnahmen für bessere Arbeitsbedingungen abgeleitet werden können. Um ein umfassendes Bild der Bedürfnisse und Bedarfe von Gig-Worker:innen zu erhalten, können neben partizipativen Ansätzen auch die Online-Aktivitäten und Kommunikationsmuster dieser Gruppe analysiert werden. Die Nutzung von Social-Media- und Webdaten erscheint dabei besonders vielversprechend, da es sich bei Gig-Work um eine digital vermittelte Aktivität handelt, was zur Annahme führt, dass die Zielgruppe im World Wide Web stark vertreten ist. Ein neuer Ansatz zur Untersuchung dieser Daten ist die „Netnographie“, ein qualitativer Forschungsansatz, der ethnografische Techniken auf Online-Communities anwendet (Addeo et al., 2019; Morais et al., 2020). In der Netnographie

werden die Phänomene und Interaktionen untersucht, die in digitalen sozialen Räumen stattfinden. Dies erfolgt durch die Analyse von Online-Kommunikation, wobei der Schwerpunkt auf den sozialen Dynamiken und kulturellen Praktiken liegt, die innerhalb dieser Gemeinschaften entstehen. Darunter fallen sowohl Untersuchungen von Texten sowie Untersuchungen visueller und audiovisueller Informationen (bspw. Podcast und Videos) auf multimodalen Plattformen. Ein Vorteil der Netnographie ist, dass die zu betrachtenden Daten bereits im World Wide Web zu finden und dass sie frei von potentiellen Verzerrungen sind, da die Forschenden nicht aktiv in der Interaktion potentieller Proband:innen involviert sind. Die Daten werden hermeneutisch interpretiert, d. h., sie werden in Bezug zu der gesamten Datenbasis gesetzt (Addeo et al., 2019; Morais et al., 2020). In diesem Beitrag werden die Chancen und Risiken von Gig-Work in Deutschland auf Basis der Ergebnisse einer netnographischen Untersuchung dargelegt. Zusätzlich werden aus den gewonnenen Erkenntnissen im Sinne der menschenzentrierten Arbeitsgestaltung Thesen für potentielle Maßnahmen abgeleitet, die aufzeigen, wie gezielt und effektiv auf die Bedürfnisse von Gig-Worker:innen eingegangen werden kann, um ihre Arbeitsbedingungen und ihre gesundheitliche Situation zu verbessern.

2. Datenerhebung

2.1 Vorgehen

Die Datenerhebung erstreckte sich von Dezember 2024 bis April 2025 und umfasste die Analyse von Aussagen und Diskussionen von Gig-Worker:innen auf verschiedenen Plattformen. Hierzu wurden unter anderem Reddit[24] (insbesondere die Subreddits r/germany, r/arbeitsleben und r/Finanzen), Kununu[25] (für Arbeitgeberbewertungen) sowie Indeed[26] (Jobbörse mit Erfahrungsberichten) herangezogen. Bei der Analyse wurde darauf geachtet, dass die Beiträge der Gig-Worker:innen einen Bezug zum deutschen Arbeitsmarkt aufwiesen. Die konkret abgefragten Dimensionen mit den dazugehörigen Forschungsfragen können Tabelle 1 entnommen werden. Die gewonnenen Daten wurden datenschutzkonform aufbereitet und anschließend mithilfe der Software MAXQDA einer qualitativen Inhaltsanalyse gemäß Mayring (2012, 2019) unterzogen.

2.2 Stichprobe

Insgesamt wurden die Äußerungen von 853 Gig-Worker:innen auf den drei genannten Plattformen einer umfassenden Analyse unterzogen. Die Länge der Äußerungen variierte erheblich, wobei sie von kurzen Sätzen bis hin zu umfangreichen Dialogen von mehreren Seiten reichten, wie dies bspw. im Fall von Reddit, einer Diskussionsplattform. Die analysierten Plattformen Reddit, Kununu und Indeed weisen eine Unterrepräsentation von Geschlechtsangaben auf, da viele Accountnamen anonym oder ohne spezifische Informationen zum Geschlecht erstellt wurden. Aus den qualitativen Aussagen konnte jedoch abgeleitet werden, dass ein großer Teil der Gig-Worker:innen männlich ist. Der Wohnort der Gig-Worker:innen wird in den vorliegenden Daten nicht

[24] https://www.reddit.com/
[25] https://www.kununu.com/
[26] https://de.indeed.com/

konkretisiert, was eine differenzierte Analyse der regionalen Verteilung nicht ermöglicht. Aus den qualitativen Aussagen lässt sich jedoch ableiten, dass die Gig-Worker:innen überwiegend aus größeren Städten in Deutschland stammen. Bezüglich des Alters deuten einige qualitative Kommentare darauf hin, dass die Mehrheit der Beschäftigten relativ jung ist, häufig im Alter zwischen 20 und 30 Jahren; es gibt jedoch auch Hinweise auf Gig-Worker:innen über 30 Jahre in diesen Tätigkeitsbereichen. Insgesamt bleibt die demografische Analyse aufgrund fehlender spezifischer Angaben in vielen Aspekten eingeschränkt.

Tabelle 1: *In die Analyse einbezogene Dimensionen und konkrete Fragen bei der Datenerhebung.*

Dimension	Konkrete Fragen
Demographie	Wie alt sind die Gig-Worker:innen? Welches Geschlecht haben die Gig-Worker:innen? Wo wohnen die Gigworker:innen? (Stadt oder Land)
Persönliche Aspekte	Wie bewertet die Person ihre Tätigkeit?
Motivation	Was sind Gründe für die Ausführung der Tätigkeit?
Erfolgsfaktoren & positive Aspekte	Was sind Gründe, die für eine Ausübung der Tätigkeit sprechen? Was funktioniert gut bei der Ausübung der Tätigkeit?
Risiken und Probleme	Was sind Gründe, die gegen eine Ausübung der Tätigkeit sprechen? Was für Probleme gibt es bei der täglichen Arbeit?
Rechtliche Aspekte	Wo sind Gig-Worker:innen über ihre rechtlichen Beschäftigungsbedingungen im Unklaren? Haben sie den Eindruck, dass es an notwendigen gesetzlichen Regulierungen mangelt?
Belastung	Wie belastet fühlt sich die Arbeitsperson bei der Ausübung der Tätigkeit?
Sicherheit	Wie sicher fühlt sich die Arbeitsperson bei der Ausübung ihrer Tätigkeiten?
Sonstiges	Welche weiteren Dimensionen fallen bei der Analyse der Daten auf?

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der netnographischen Analyse deuten darauf hin, dass Gig-Worker:innen eine Vielzahl von Aspekten an ihrer Tätigkeit schätzen. Besonders hervorzuheben ist die vermeintliche zeitliche Flexibilität, die es ihnen ermöglicht, selbst zu entscheiden, wann sie arbeiten möchten sowie die niedrigen Einstiegshürden, die eine schnelle Aufnahme in den Arbeitsmarkt ohne langwierige Prozesse ermöglicht. Einige der Gig-Worker:innen hatten die Möglichkeit, die potentiellen Flottenpartner:innen[27] oder die jeweiligen Plattformenvertreter:innen über im Internet verfügbare Telefonnummern oder über Social Media-Anwendungen zu kontaktieren. Die Gig-Worker:innen nutzten diese Tätigkeiten als Zusatzverdienst zur Aufbesserung ihres Einkommens und schätzen die Unabhängigkeit von klassischen Hierarchien und ständiger Aufsicht. Dennoch stehen Gig-Worker:innen auch vor erheblichen Herausforderungen. Die

[27] Flottenpartner:innen sind in der Regel etablierte Unternehmen, wie beispielsweise Kurierdienste oder Mietwagenunternehmen, die eine Kooperation mit großen Plattformen eingehen. Diese Partner:innenschaften ermöglichen es den Plattformen, bspw. Fahrer:innen für ihre Anwendungen bereitzustellen. Flottenpartner:innen fungieren als Arbeitgeber:innen, die Fahrgäste oder Lieferungen vermitteln und geben oft an, flexible Arbeitszeiten zu haben. Zudem übernehmen sie die Abwicklung der Zahlungen sowie die administrativen Aufgaben im Zusammenhang mit der Beschäftigung.

niedrige Bezahlung ist ein zentrales Problem; viele Gig-Worker:innen berichten von einem Einkommen, das deutlich unter ihren Erwartungen liegt, teilweise sogar unter dem Einkommen, das auf verschiedenen Webseiten im Internet zugesichert wird. Hinzu kommt eine allgemeine Unsicherheit bezüglich sozialer Absicherungen wie Krankheits- und Altersvorsorge oder Urlaub. Stress durch Kund:innenbewertungen stellt eine weitere Belastung dar, da negative Kommentare das Einkommen gefährden können. Physische Belastungen durch lange Arbeitszeiten und widrige Wetterbedingungen sowie willkürliche Sperrungen der Zugänge zu den Plattformen ohne klare Begründung und damit ein Wegfall der Einkommensquelle tragen zur Frustration bei. Zudem führt die häufig kurzfristige Bekanntgabe von Schichten (von wenigen Tagen bis zu etwa einer Woche im Voraus) zu Herausforderungen bei der Organisation des privaten Lebens. Dies steht im Kontrast zu dem Wunsch nach Flexibilität. Darüber hinaus wird die mangelnde Kommunikation seitens der Arbeitgeber:innen-Plattformen oder der Flottenpartner:innen als problematisch empfunden; viele Gig-Worker:innen berichten von unzureichenden Reaktionen auf ihre Anliegen, bspw. wenn die Ausrüstung beschädigt wurde oder in Krankheitsfällen. Insbesondere wird die Situation dadurch erschwert, dass Gig-Worker:innen in der Regel lediglich über Hotlines der jeweiligen Plattformen Zugang zu Ansprechpartner:innen haben, die oft nicht adäquat auf ihre Anliegen reagieren. Abschließend weisen die Daten darauf hin, dass Personen in Führungsverantwortung teilweise diskriminierendes Verhalten zeigen und in einigen Fällen sogar Mobbingverhalten (auch „Bossing“ genannt) an den Tag legen. Konkret zeigt sich das abschätzige Verhalten, laut Aussagen der Betroffenen, darin, dass relevante Informationen zum Ausüben der Tätigkeit nicht weitergegeben werden, Gig-Worker:innen explizit von Veranstaltungen ausgeschlossen werden und in einigen Fällen sogar üble Nachrede betrieben wird. Solche Verhaltensweisen können erheblich zur Verschlechterung des Arbeitsklimas beitragen und das Wohlbefinden der Gig-Worker:innen negativ beeinflussen.

4. Diskussion

Die netnographische Analyse der Gig-Arbeit zeigt sowohl Chancen als auch Risiken für die Beschäftigten. Eine der größten Chancen liegt in der Flexibilität, die es den Gig-Worker:innen ermöglicht, ihre Arbeitszeiten selbst zu gestalten und so Arbeit mit anderen Lebensbereichen zu vereinbaren. Gleichzeitig birgt diese Form der Beschäftigung erhebliche Risiken, insbesondere in Bezug auf finanzielle Unsicherheiten und fehlende soziale Absicherungen. Die Abhängigkeit von Plattformen und Flottenpartner:innen und deren oft intransparente Richtlinien kann zudem zu einer instabilen Einkommenssituation führen, was die langfristige Perspektive der Gig-Worker:innen gefährdet. Aus den Analysen lassen sich folgende Thesen für die Gestaltung verbesserter Arbeitsbedingungen ableiten (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: *Thesen für potentielle Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen durch Plattformen oder/und Flottenpartner:innen.*

These…	**Beschreibung**
zum Arbeitsschutz	Im Kontext des Arbeitsschutzes ist es für Gig-Worker:innen von Bedeutung, Ruhezeiten einzuhalten und Arbeitszeiten gemäß den geltenden Regularien in Deutschland zu strukturieren. Bei der Vergabe von Schichten sollte dies angemessen berücksichtigt werden. Darüber hinaus sollte das Entgelt der Gig-Worker:innen von deren Verfügbarkeiten sowie den Auftragszahlen entkoppelt werden, um einer Selbstausbeutung von Gig-Worker:innen vorzubeugen.
zur Flexibilität	Um den Bedürfnissen der Gig-Worker:innen angemessen Rechnung zu tragen, ist es erforderlich, dass Plattformen flexible Arbeitszeitmodelle implementieren, die es den Beschäftigten ermöglichen, ihre Arbeit an individuelle Lebensumstände anzupassen. Die Schichtvergabe sollte dabei einerseits mit einer ausreichenden Vorlaufzeit von mehreren Wochen bereitgestellt werden, damit Gig-Worker:innen die Möglichkeit erhalten, private Termine planen zu können. Andererseits sollte Gig-Worker:innen die Möglichkeit gegeben werden, die Schichten auch flexibel untereinander tauschen zu können, um kurzfristige Termine wahrnehmen zu können.
zur Vergütung	Eine faire und transparente Vergütung ist von grundlegender Bedeutung für die Zufriedenheit und das Wohlbefinden der Gig-Worker:innen. Neben der Sicherstellung einer gerechten Vergütung sollten die Verantwortlichkeiten, die mit der Vergütung verknüpft sind, klar und transparent kommuniziert werden. Die Abrechnungen müssen in verständlicher Form aufbereitet sein, und die Auszahlung sollte pünktlich erfolgen.
zur sozialen Absicherung	Es ist unerlässlich, dass Gig-Work von sozialen Sicherungssystemen abgedeckt werden, die umfassende Aspekte wie Krankheits- und Altersvorsorge sowie Urlaub umfassen. Für diese Systeme sollten nachvollziehbare Prozesse entwickelt werden, um sicherzustellen, dass Gig-Worker:innen über einen einheitlichen Informationsstand verfügen.
zur Kommunikation	Gig-Work-Plattformen sollten geeignete Mechanismen etablieren, die es den Beschäftigten ermöglichen, Feedback zu geben und Probleme zeitnah zu adressieren. Darüber hinaus ist es erforderlich, dass die Plattformen schnell und effizient auf Herausforderungen reagieren, die während der Schichten vor Ort auftreten. Dies schließt nicht nur technische Probleme ein, sondern auch Schwierigkeiten im Umgang mit Kund:innen, Unfälle sowie Fragen bezüglich des eingesetzten Equipments.
zur Gleichstellung	Plattformen sollten klare Richtlinien implementieren und Sensibilisierungsprogramme für alle Beschäftigten anbieten, um ein respektvolles Miteinander zu fördern. Darüber hinaus ist es von entscheidender Bedeutung, dass Führungskräfte entsprechend geschult werden, um diskriminierendes Verhalten aktiv zu identifizieren und zu unterbinden. Dies schließt die Entwicklung von Kommunikationsstrategien ein, die eine offene Diskussion über derartige Themen fördern und sicherstellen, dass sich alle Gig-Worker:innen in ihrem Arbeitsumfeld respektiert und geschützt fühlen.“

Bei den formulierten Thesen ist zu berücksichtigen, dass sich die Anforderungen an Gig-Worker:innen je nach spezifischer Tätigkeit unterscheiden. Im Bereich der Fahrdienste[28] sind sie mit finanzieller Unsicherheit und gleichzeitig hoher Arbeitsintensität konfrontiert, insbesondere hinsichtlich der Arbeitszeiten und des Arbeitsvolumens, da Fahrdienste sowohl nachts als auch tagsüber aktiv sein müssen (Berger et al., 2019). Im Gegensatz dazu sehen sich Lieferdienste, einschließlich Lebensmittelkuriere[29] und Essenslie-ferant:innen[30], mit gefährlichen Verkehrssituationen während der Auslieferung mit dem Fahrrad, sowie unzureichenden Kontrollen über die tatsächlichen Beschäftigungssituationen konfrontiert (Beyer & Legantke, 2025). Eine differenzierte Analyse der verschiedenen Tätigkeitsprofile in der ortsgebundenen Gig-Work ist unerlässlich, um die identifizierten Thesen zu validieren. Eine solche Analyse würde bei der Identifikation spezifischer Bedürfnisse und Anforderungen der Gig-Worker:innen unterstützen und helfen, gezielter darauf einzugehen. Durch das Verständnis der un-

[28] Gig-Worker:innen bei Fahrdiensten sind Beschäftigte, die auf flexibler Basis für Plattformen, um Passagiere zu transportieren und selbst entscheiden können, wann sie tätig werden.
[29] Lebensmittelkuriere sind Gig-Worker:innen, die auf flexibler Basis für Plattformen tätig sind, um Lebensmittel von Geschäften oder dezidiert dafür eröffneten Lagern zu den Kund:innen zu liefern.
[30] Essenslieferant:innen bezeichnen hier Gig-Worker:innen, die für Plattformen arbeiten, um Speisen von Restaurants zu den Kund:innen zu bringen.

terschiedlichen Herausforderungen in den einzelnen Tätigkeitsfeldern könnten Maßnahmen entwickelt werden, die sowohl den individuellen als auch den kollektiven Interessen der Beschäftigten mehr Rechnung tragen.

5. Fazit

Der Beitrag verfolgt das Ziel die spezifischen Chancen und Risiken von Gig-Worker:innen im Plattformsektor in Deutschland zu analysieren und Thesen zur Verbesserung ihrer Arbeitsbedingungen abzuleiten. Die Ergebnisse zeigen, dass Gig-Worker:innen zwar von der Flexibilität und den niedrigen Einstiegshürden profitieren, gleichzeitig jedoch mit erheblichen Problemen wie finanzieller Unsicherheit, unzureichenden sozialen Sicherheiten und diskriminierendem Verhalten konfrontiert sind. Die Ergebnisse der netnographischen Untersuchung werden in einem nächsten Schritt genutzt, um datenbasierte Personas zu entwickeln. Durch diese personaspezifische Analyse lässt sich ein vertieftes Verständnis für die individuellen Bedürfnisse der Gig-Worker:innen gewinnen, auf dessen Basis gezielte Lösungen formuliert werden können, die sowohl die gesundheitlichen Situation der Gig-Worker:innen steigern als auch langfristig stabile Arbeitsverhältnisse im Gig-Sektor fördern.

6. Literatur

Addeo, F., Delli Paoli, A., Esposito, M. & Ylenia Bolcato, M. (2019). Doing Social Research on Online Communities: The Benefits of Netnography. *ATHENS JOURNAL OF SOCIAL SCIENCES*, *7*(1), 9–38. https://doi.org/10.30958/ajss.7-1-1

Bertelsmann Stiftung. (2019). *Plattformarbeit in Deutschland: Freie und flexible Arbeit ohne soziale Absicherung.* Bertelsmann Stiftung.

Beyer, J. & Legantke, K. (2025). Varieties of Gig Work: Germany's Unique Development in the Platform-based Food Delivery Sector. *Zeitschrift für Soziologie*, *54*(4), 381–399. https://doi.org/10.1515/zfsoz-2025-2024

Mayring, P. (2012). Qualitative Inhaltsanalyse–ein Beispiel für Mixed Methods. *Mixed Methods in der empirischen Bildungsforschung*, *1*, 27–36.

Mayring, P. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse – Abgrenzungen, Spielarten, Weiterentwicklungen. Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.17169/FQS-20.3.3343 (Forum Qualitative Sozialfor schung / Forum: Qualitative Social Research, Vol 20, No 3 (2019): Qualitative Content Analysis I).

Morais, G., Santos, V. & Gonçalves, C. (2020). Netnography: Origins, Foundations, Evolution and Axiological and Methodological Developments and Trends. *The Qualitative Report.* Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.46743/2160-3715/2020.4227

Schäfer, K. (2024). *Theoretische Herleitung, Vorstellung und empirische Erprobung des Konzeptes der „prospektiven Personas" am Beispiel plattformbasierter Arbeit im Rahmen eines system- und handlungstheoretischen Diskurses.* Doctoral dissertation, Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.

Schäfer, K., Görke, A., Hesemann, L., Franke, T., Nitsch, V., Heckwolf, C., Mertens, A., Brandl, C. & Zweck, A. (2022). Digital platforms: Perceived criteria of success, importance of work design, occupational safety and health for present and prospective digital platforms. *Work (Reading, Mass.)*, *72*(4), 1593–1610. https://doi.org/10.3233/WOR-211253

Gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (MKW) im Rahmen der Exzellenzstrategie von Bund und Ländern" (StUpPD_452-24).

Kompetenzwandel und Fachkräftesicherung – eine empirische Untersuchung zu den Auswirkungen von KI, Automatisierung und Wertewandel auf zukünftige Arbeitsstrukturen

Sophia LUX[1], Kristin RAABE[1], Lea HEINZEL[2]

[1] Fakultät Wirtschaftswissenschaft und Wirtschaftsingenieurwesen
(Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Unternehmensführung und Organisation)
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
Gustav-Freytag-Straße 42 a, D-04277 Leipzig
[2] Privates Institut für Berufungsforschung GmbH
Moschelesstrasse 2, D-04109 Leipzig

Kurzfassung: Der Beitrag gibt einen Einblick über eine empirische Analyse zu Auswirkungen von KI-Technologien auf Arbeitsstrukturen, Tätigkeitsprofile und Kompetenzanforderungen. Auf Basis eines Mixed-Methods-Ansatzes der zugrundeliegenden Studie werden unterschiedliche organisationale KI-Reifegrade untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass arbeitswissenschaftliche Gestaltung, organisationale Lernfähigkeit und Schwarmintelligenz zentrale Erfolgsfaktoren für die nachhaltige Integration von KI sind.

Schlüsselwörter: Künstliche Intelligenz, Arbeitsgestaltung, Kompetenzwandel, Mensch-KI-Integration, Organisationsstruktur, Schwarmintelligenz

1. Transformation durch KI und Automatisierung – veränderte Werte und Arbeitsstruktur(en) in Organisationen

Die zunehmende Leistungsfähigkeit von KI-Modellen verändert betriebliche Arbeits- und Entscheidungsprozesse grundlegend. KI wird verstärkt in operative und wissensintensive Tätigkeiten integriert und beeinflusst Aufgabenverteilungen, Entscheidungslogiken und Koordination in Organisationen (Melcher 2025).

In Deutschland vollzieht sich diese Entwicklung mittlerweile auch jenseits von Pilotprojekten, insbesondere im Mittelstand. Politische Initiativen wie das Mittelstand-Digital Netzwerk unterstützen Unternehmen beim Kompetenzaufbau und der Integration von KI-Technologien (Spitz et al. 2025). Im Mittelpunkt steht damit weniger das „Ob“ als das „Wie“ der KI-Einführung. Der Nutzen hängt von der organisatorischen Einbettung sowie den erforderlichen Kompetenzen der Beschäftigten ab. Damit verändern sich Tätigkeitsprofile und Verantwortungs-strukturen und es stellen sich normative Fragen zu Autonomie, Transparenz und Kontrolle (Lux & Heinzel 2025).

Hieraus ergibt sich arbeitswissenschaftlicher Forschungsbedarf hinsichtlich der erforderlichen Kompetenzen und organisatorischen Anpassungen, um kollektive Wirksamkeit im Umgang mit KI zu ermöglichen. Diese Fragestellungen bilden den Ausgangspunkt der Untersuchung.

2. Derzeitiger Stand der Forschung zum Transformationsprozess

2.1. Wandel der Arbeitsorganisation und Arbeitsstruktur(en)

Aktuelle empirische Studien zeigen übereinstimmend, dass Veränderungen weniger zu einem Abbau von Arbeit führen, sondern mit einer Verschiebung von Tätigkeiten und Kompetenzanforderungen einhergehen. Insbesondere gewinnen überwachende, analytische und koordinierende Aufgaben an Bedeutung, während sich Kompetenzschwerpunkte in Richtung Entscheidungsunterstützung und Mensch-KI-Interaktion verlagern (Giering & Kirchner 2025). Die Arbeitsstruktur dient damit als analytischer Bezugsrahmen, um den Wandel von Tätigkeitsprofilen und zukünftigen Kompetenzanforderungen im Kontext von KI zu untersuchen.

2.2 Zukünftige Kompetenzanforderungen und arbeitswissenschaftliche Perspektive

Aktuelle arbeitsmarktbezogene Studien zeigen übereinstimmend, dass der Einsatz von Künstlicher Intelligenz weniger zu einem Wegfall von Arbeit führt, sondern mit einer Verschiebung von Tätigkeitsprofilen und Kompetenzanforderungen einhergeht. Die Studie des McKinsey Global Institute (Chui et al. 202) verdeutlicht auf Basis großskaliger Arbeitsmarktdaten, dass insbesondere routinisierte Tätigkeiten automatisiert werden, während die Nachfrage nach höherqualifizierten Berufen mit analytischen, sozialen und koordinierenden Anforderungen zunimmt. Damit gewinnen Kompetenzen wie Problemlösungsfähigkeit, Entscheidungs- und Bewertungskompetenz sowie der reflektierte Umgang mit KI-gestützten Ergebnissen an Bedeutung.

2.3 Human-in-the-Loop, Schwarmintelligenz und Organisationsstruktur

Mit der zunehmenden Integration von KI-Systemen in Arbeits- und Entscheidungsprozesse gewinnt das Konzept des Human-in-the-Loop (HITL) an Bedeutung. Darunter werden Arrangements verstanden, in denen menschliche Akteure KI-gestützte Prozesse überwachen, bewerten oder finale Entscheidungen treffen. Empirische Studien zeigen jedoch, dass die bloße Einbindung des Menschen nicht automatisch zu Leistungsgewinnen führt. So weisen die Experimente von Bansal et al. (2021) darauf hin, dass Human-AI-Teams nur dann effektiv arbeiten, wenn Rollen, Zuständigkeiten und Eingriffspunkte zwischen Mensch und KI klar definiert sind.

3. Methodischer Ansatz zur empirischen Analyse

3.1 Studiendesign und Erhebungsinstrumente

Das Studiendesign folgt einem sequentiellen Mixed-Methods-Ansatz. In einem ersten Schritt wurden großskalige quantitative Daten analysiert, um Trends im Kompetenz- und Tätigkeitswandel zu identifizieren. Diese Ergebnisse bildeten die Grundlage für die qualitative Vertiefung mittels leitfadengestützter Interviews, die auf das organisationale Erleben, konkrete Umsetzungspraxen sowie strategische Zielbilder fokussierten.

Als zentrales qualitatives Erhebungsinstrument diente ein strukturierter Interviewleitfaden, der zugleich standardisierte Fragebogenelemente enthielt. Abbildung 2 zeigt die Themenfelder, welche im Fragebogen umrissen werden.

Der Grad der KI-Etablierung wurde über ein fünfstufiges Reifegradmodell operationalisiert, das von experimentellen Testphasen bis hin zur KI-gestützten Entscheidungsvorbereitung reicht. Dieses Modell ermöglichte eine differenzierte Einordnung organisationaler Entwicklungsstände und bildete eine zentrale analytische Vergleichsdimension.

3.2 Stichprobe sowie Branchen- und regionale Abdeckung

Die empirische Grundlage der Untersuchung bildet eine KI-gestützte Analyse von über 250.000 Stellenanzeigen, Arbeitnehmerprofilen und Weiterbildungsangeboten aus dem deutschsprachigen Raum. Diese Daten erlaubten eine systematische Identifikation von Kompetenzanforderungen, Tätigkeitsveränderungen und Qualifikationsprofilen über verschiedene Branchen hinweg.

Ergänzend wurden 50 leitfadengestützte Interviews mit Expert:innen aus Unternehmen unterschiedlicher Größe und Branchenzugehörigkeit durchgeführt, darunter Industrie, Dienstleistung, öffentlicher Sektor und wissensintensive Dienstleistungen.

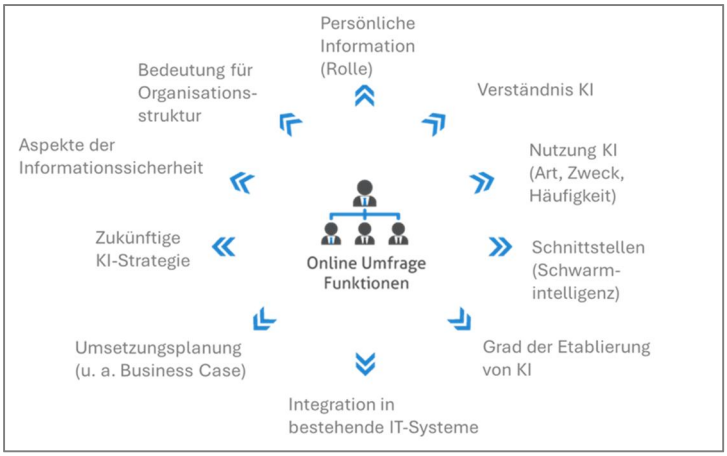


***Abbildung 1**: Fragebogenerhebung.*

3.3 Quantitative und qualitative Auswertungsverfahren

Die quantitative Auswertung basierte auf der inhaltsanalytischen Aufbereitung großskaliger Textdaten aus Stellenanzeigen und beruflichen Online-Profilen. Die qualitativen Expert:inneninterviews wurden transkribiert und mithilfe der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring ausgewertet. Dabei kam ein deduktiv-induktives Vorgehen zum Einsatz, bei dem theoriegeleitete Kategorien mit materialbasiert entwickelten Aspekten kombiniert wurden (Mayring 2022).

Durch die Kombination beider Auswertungsverfahren konnten Veränderungen von Tätigkeiten, Kompetenzanforderungen und zukünftigen Berufsbildern datenbasiert identifiziert und zugleich praxisnah interpretiert werden.

4. Vorläufige Ergebnisse und Handlungsempfehlungen

4.1 Veränderung der Arbeitsstruktur

Die Analyse verdeutlicht, dass KI insbesondere die inhaltliche und organisatorische Arbeitsstruktur verändert. Routinetätigkeiten werden in hohem Maße automatisiert, während neue Rollenprofile entstehen, etwa in Form von KI-Koordinator:innen, Datenverantwortlichen oder Human-in-the-Loop-Funktionen. Diese Rollen zeichnen sich durch eine hohe Schnittstellenfunktion zwischen Technologie, Fachbereich und Organisation aus. Gleichzeitig nehmen Koordinations- und Abstimmungsanforderungen zu, da Entscheidungen häufiger auf KI-gestützten Voranalysen beruhen und innerhalb verteilter Arbeitssysteme abgestimmt werden müssen. Arbeitsprozesse werden dadurch weniger linear, sondern stärker iterativ und feedbackorientiert gestaltet.

4.2 Zukünftige Kompetenzen der Beschäftigten

Auf Basis der Faktorenanalysen lassen sich mehrere Kompetenzcluster identifizieren, die branchenübergreifend an Bedeutung gewinnen. Neben digitalen Basisfertigkeiten und KI-spezifischen Kompetenzen, etwa dem Verständnis von Datenlogiken und Modellgrenzen, rücken insbesondere analytische und problemlösungsorientierte Fähigkeiten in den Vordergrund. Diese Kompetenzen ermöglichen es Beschäftigten, KI-gestützte Ergebnisse zu bewerten, einzuordnen und in konkrete Arbeitshandlungen zu überführen.

Mit der zunehmenden Automatisierung routinisierter und standardisierbarer Tätigkeiten verschiebt sich der Kompetenzbedarf weg von ausführenden Aufgaben hin zu stärker reflexiven, adaptiven und koordinierenden Anforderungen. Zukünftig sind Beschäftigte verstärkt gefordert, flexibel auf veränderte Aufgabenanforderungen zu reagieren, neue Tätigkeitszuschnitte anzunehmen und sich kontinuierlich an dynamische Arbeitsumgebungen anzupassen. Damit gewinnen Lernfähigkeit, Selbstorganisation und die Fähigkeit zum agilen Arbeiten an Bedeutung.

Ergänzend zeigt sich eine wachsende Relevanz ethischer Entscheidungskompetenz, insbesondere im Umgang mit intransparenten oder risikobehafteten KI-Systemen. Der kompetente Umgang mit KI erfordert somit nicht nur technisches Verständnis, sondern auch die Fähigkeit, Verantwortung zu übernehmen, Entscheidungen kritisch zu reflektieren und die Grenzen automatisierter Systeme zu erkennen.

4.3 Organisatorische Anpassungsbedarfe

Die erfolgreiche Etablierung von KI erfordert neben individueller Kompetenzentwicklung auch organisationale Anpassungen. Empirisch zeigt sich, dass Organisationen mit klar definierten Rollen, transparenten Entscheidungslogiken und agilen Steuerungsmodellen KI wirksamer einsetzen als stark hierarchisierte Strukturen. Zentrale Erfolgsfaktoren sind dabei eine eindeutige Verantwortungszuweisung sowie institutionalisierte Feedback- und Abstimmungsprozesse, insbesondere in KI-gestützten Entscheidungsprozessen.
Damit wird deutlich, dass die Integration von KI nicht allein eine technische, sondern eine methodisch-organisationale Gestaltungsaufgabe darstellt. Die Einbindung geeigneter methodischer Interventionen, etwa assoziativer Scanning-Ansätze, kann

kollektive Entscheidungsprozesse strukturieren und die organisationale Wissensintegration fördern (Raabe 2024).

Diese Befunde lassen sich mit organisationswissenschaftlichen Ansätzen zur Schwarmintelligenz und organisationalen Lernfähigkeit verbinden. Wie Lux (2025) hervorhebt, bleiben Organisationen im Kontext von KI und zunehmender Komplexität nur dann handlungsfähig, wenn sie Strukturen schaffen, die vernetztes Denken, kollektive Bewertung und iterative Abstimmung ermöglichen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen damit, dass organisationale Anpassungs- und Lernfähigkeit zentrale Voraussetzungen für eine nachhaltige Integration von KI darstellen.

5. Einordnung der Studie in den aktuellen Forschungsstand und Diskussion

Die vorliegende Untersuchung leistet einen Beitrag zur arbeitswissenschaftlichen Debatte um die Gestaltung KI-unterstützter Arbeitssysteme, indem sie technologische, organisationale und kompetenzbezogene Perspektiven integriert betrachtet. Im Unterschied zu vielen bestehenden Studien, die Tätigkeitsveränderungen oder Kompetenzanforderungen isoliert analysieren, verbindet der gewählte Ansatz unterschiedliche KI-Nutzungsgrade mit empirisch beobachtbaren Veränderungen von Tätigkeitsprofilen und Kompetenzanforderungen.

Die Ergebnisse stehen im Einklang mit aktuellen arbeitsmarktbezogenen Prognosen, etwa der Studie des McKinsey Global Institute (Chui et al. 2024), die ebenfalls von einer Verschiebung von routinisierten Tätigkeiten hin zu höherqualifizierten, analytischen und koordinierenden Aufgaben ausgeht. Während solche Studien den Wandel primär auf makroökonomischer Ebene modellieren, ergänzt die vorliegende Untersuchung diese Perspektive durch die Analyse realer Arbeitsmarktdaten und betrieblicher Praxiserfahrungen. Für Unternehmen ergeben sich daraus konkrete Implikationen: Der Einsatz von KI sollte nicht primär technologisch, sondern arbeits- und kompetenzbezogen gestaltet werden. Insbesondere erfordert Kompetenz-entwicklung langfristig angelegte Lern- und Anpassungsprozesse, die formale Weiterbildung und arbeitsintegriertes Lernen miteinander verbinden.

Gleichzeitig sind die Grenzen der Studie zu berücksichtigen. Die Ergebnisse basieren auf einer Querschnittsanalyse und erlauben keine Aussagen über langfristige Wirkungen. Zudem können branchenspezifische Besonderheiten nur eingeschränkt abgebildet werden. Daraus ergeben sich Ansatzpunkte für weiterführende Forschung, insbesondere in Form von Längsschnittstudien und vertiefenden Branchenanalysen.

6. Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass der Einsatz von Künstlicher Intelligenz und Automatisierung weniger zu einer Substitution von Arbeit als vielmehr zu einer tiefgreifenden Transformation von Tätigkeiten und Kompetenzanforderungen führt. Arbeitsanforderungen verschieben sich dabei von routinisierten Ausführungstätigkeiten hin zu überwachenden, koordinierenden und reflexiven Aufgaben in hybriden Mensch-KI-Systemen.

Aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive wird deutlich, dass der erfolgreiche Einsatz von KI primär eine gestalterische Herausforderung darstellt. KI ist als

Bestandteil sozio-technischer Arbeitssysteme zu verstehen, deren Wirksamkeit wesentlich von der Passung zwischen technischen Systemen, organisationalen Rahmenbedingungen und menschlichen Fähigkeiten abhängt. Das Konstrukt der Kompatibilität bietet hierfür einen geeigneten Bezugsrahmen, um Risiken wie erhöhte kognitive Belastung, Intransparenz oder unklare Verantwortlichkeiten systematisch zu adressieren.

Für die Praxis bedeutet dies, dass KI-Einführungen mit arbeitswissenschaftlichen Gestaltungsprinzipien verknüpft werden müssen, insbesondere durch transparente Mensch-KI-Schnittstellen, klar definierte Human-in-the-Loop-Arrangements und kompetenzorientierte Qualifizierungsformate. Für die weitere Forschung ergibt sich die Notwendigkeit, Mensch-KI-Kompatibilität sowie deren Auswirkungen auf Arbeitsqualität, Kompetenzentwicklung und organisationale Leistungsfähigkeit weiterführend zu untersuchen.

7. Literaturverzeichnis

Bansal G, Wu T, Zhou J, Fok R, Nushi B, Kamar E, Ribeiro MT, Weld DS (2021) Does the whole exceed its parts? The effect of AI explanations on complementary team performance. Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computer Systems (CHI '21), 1–16. Association for Computing Machinery.

Chui M, Durth S, Hazan E, Huyghues-Despointes R, Madgavkar A, Maor D, Dandona GS, Smit S (2024) Eine neue Zukunft der Arbeit: Der Wettlauf um die Einführung von KI in Europa – welche Fähigkeiten jetzt gefragt sind. McKinsey Global Institute.

Giering O, Kirchner, S (2025) Artificial intelligence and autonomy at work: empirical insights from Germany. Journal for Labour Market Research, 59(1), 20.

Lux S, Heinzel L (2025) Der Einsatz von KI-Lösungen – das Ende klassischer Organisationsmodelle? IT-Governance Heft 42: 1864-6557

Mayring, P. (2022) Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 13., überarbeitete Auflage. Weinheim/Basel: Beltz.

Melcher, PR (2025) Künstliche Intelligenz (KI) im Wissens- und Wissenschaftsmanagement: Wahrheit, Täuschung und Handlungsempfehlungen. Wissenschaftsmanagement 2025, 0947-9546.

Raabe K (2024) Unterstützung von strategischen Entscheidungen in kollektiven Planungssituationen mittels Assoziativer-Scanning-Methode. Universität Kassel.

Spitz D, Funke J, Stein C, Burkhardt K, Meurer T, Apfelbeck R, Kielhorn S (2025) Digitalisierung im Wandel: Trends und Perspektiven für 2026. Whitepaper, Version 1.0, Oktober 2025. IT-P GmbH.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt der regionalen Fachkräfte Allianz gefördert durch die SAB und Herrn Marc Weber für die konstruktive Zusammenarbeit.

Partizipative Problemraumanalyse im organisationalen Wandel – werkstattbasierte organisationspsychologische Diagnostik

David SAUER, Matthias SCHMIDT

Institut für Gesundheit, Altern, Arbeit und Technik (GAT)
Hochschule Zittau/Görlitz, Brückenstr. 1, D-02628 Görlitz

Kurzfassung: Der Erfolg organisationaler Veränderungsprozesse hängt maßgeblich von der Qualität der Problemdefinition und der kollektiven Sinnstiftung der beteiligten Akteur:innen ab (Weick, 1995). Während klassische Diagnostik im Change Management häufig auf top-down erhobenen Kennzahlen oder standardisierten Befragungen basiert, zeigt sich in der Praxis ein wachsender Bedarf an beteiligungsorientierten Verfahren. Partizipative Workshops stellen hierfür ein zentrales Instrument dar, um implizites Wissen und Nutzerbedürfnisse systematisch sichtbar zu machen. Sie bieten „eine strukturierte Plattform zum Sammeln von Erkenntnissen, zur Generierung von Ideen und zur gemeinsamen Entwicklung von Lösungen“ (Denecke et al., 2025, S. 360; eigene Übersetzung) und basieren auf der Annahme, dass erfahrungsbasiertes Nutzerwissen eine eigenständige und valide Wissensform darstellt, die professionelle Perspektiven ergänzt.Der vorliegende Beitrag stellt einen werkstattbasierten Ansatz zur partizipativen Problemraumanalyse vor, der als dialogisches Instrument der Organisationsdiagnostik konzipiert ist und kollektives Sensemaking in den Mittelpunkt rückt. Ausgehend von einer vorgelagerten Screening-Phase zu arbeitspsychologischen Belastungs-indikatoren werden in einem mehr-stufigen Workshopformat reale Dokumentations- und Informations-prozesse mithilfe von Planspielen und Design-Thinking-Elementen simuliert, reflektiert und gemeinsam neu gefasst. Eine Fallstudie in einem mittelständischen Produktions-unternehmen zeigt, dass der Ansatz zu erhöhter Diagnosevalidität, gesteigerter psychologischer Beteiligung sowie zu einer besseren Integration technischer, organisatorischer und sozialer Perspektiven führt.

Schlüsselwörter: Changemanagement, Partizipation, Organisationsdiag-nostik, kollektive Sinnstiftung, Problemraumanalyse, sozio-technische Systemgestaltung

1. Einleitung

Organisationaler Wandel scheitert selten an der Verfügbarkeit technischer Lösungen, sondern häufig an unklaren Problemdefinitionen, unzureichender Einbindung der Betroffenen sowie an der Diskrepanz zwischen formaler Prozessbeschreibung und gelebter Praxis. Klassische Change-Diagnostik folgt vielfach einer Expertenlogik: Kennzahlen, standardisierte Befragungen oder Audits erzeugen ein scheinbar objektives Bild des Ist-Zustands, auf dessen Basis Maßnahmenpakete abgeleitet werden. In komplexen sozio-technischen Systemen (Trist & Emery, 1973) erweist sich dieses Vorgehen jedoch als begrenzt, da implizite Routinen, Umgehungsstrategien und kollektive Deutungsmuster der Beschäftigten nur

unzureichend erfasst werden.

Vor diesem Hintergrund wird ein werkstattbasierter Ansatz zur partizipativen Problemraumanalyse vorgestellt, der Diagnose explizit als sozialen Konstruktions- und Lernprozess versteht. Theoretisch stützt sich der Ansatz auf das Sensemaking-Konzept (Weick, 1995), die sozio-technische Systemtheorie (Trist & Emery, 1973) sowie arbeitspsychologische Belastungs- und Beanspruchungsmodelle (ISO 10075-1/-2). Empirisch basiert er auf einer Fallstudie in einem mittelständischen Produktionsunternehmen der Süßwarenindustrie, in dem Dokumentations- und Datenqualitätsprobleme im Kontext der Einführung digitaler Assistenzsysteme bearbeitet wurden. Ziel ist es, einen methodischen Ansatz zu skizzieren, der die Stärken quantitativer Screenings mit dialogorientierter Werkstattarbeit verbindet und so sowohl Diagnosevalidität als auch Veränderungsbereitschaft stärkt.

2. Theoretischer Rahmen

2.1 Sensemaking: Diagnose als kollektive Sinnstiftung

Sensemaking beschreibt den Prozess, durch den Individuen und Gruppen mehrdeutige Situationen retrospektiv interpretieren und in eine plausible, handlungsleitende Ordnung überführen. Weick (1995) betont, dass dabei weniger objektive Genauigkeit als vielmehr Plausibilität und Anschlussfähigkeit entscheidend sind („accuracy is nice, but not necessary in sensemaking“; eigene Übersetzung). Organisationsrealität wird in diesem Verständnis nicht einfach entdeckt, sondern durch Handeln und Erzählen hervorgebracht („enacted“ im Sinne eines aktiven Hervorbringens sozialer Wirklichkeit). Diagnose ist folglich kein rein analytischer Messvorgang, sondern ein kollektiver Sinnstiftungsprozess, in dem Mitarbeitende gemeinsam zu verstehen versuchen, „was hier eigentlich vor sich geht“, Inkonsistenzen thematisieren und Orientierungsrahmen stabilisieren.

Zentrale Charakteristika des Sensemaking sind seine soziale Einbettung, Retrospektivität, die Fokussierung auf Hinweisreize sowie der Vorrang von Plausibilität vor Vollständigkeit (Weick, 1995). Für die Organisationsdiagnostik bedeutet dies, dass eine „gute“ Diagnose nicht nur fachlich korrekt, sondern vor allem für die Beteiligten sinnhaft, anschlussfähig und gestaltbar sein muss.

2.2 Sozio-technische Systeme und Work-as-Done

Die Arbeiten von Trist und Emery (1973) verdeutlichen, dass Organisationen als Gefüge technischer, organisatorischer und sozialer Elemente zu verstehen sind, deren gemeinsame Optimierung entscheidend für Leistungsfähigkeit und Gesundheit ist. Eingriffe, die sich ausschließlich auf Technik oder Struktur beschränken, bleiben wirkungslos, wenn sie nicht mit den real gelebten Arbeitsweisen kompatibel sind.

Die Unterscheidung zwischen Work-as-Imagined und Work-as-Done verdeutlicht diese Diskrepanz: Während Prozessbeschreibungen Arbeit als geplant repräsentieren, zeigt sich im Alltag häufig eine situativ angepasste Praxis. Effektive Organisationsdiagnostik muss diese Differenz explizit machen. Planspiele bieten hierfür einen geeigneten Rahmen, da sie gelebte Praxis in einem geschützten Setting sichtbar, diskutierbar und veränderbar machen.

2.3 Arbeitspsychologische Grundlagen: Screening und Gestaltungsprinzipien

Die vorgelagerte Screening-Phase orientiert sich an etablierten arbeitspsychologischen Instrumenten (z. B. BASA, KFZA, ISTA) zur Erfassung psychosozialer Arbeitsbedingungen. Typische Indikatoren umfassen Entscheidungsspielräume, Informationsflüsse, Rollenklarheit und Störungen (Prümper et al., 1995; Kristensen et al., 2005; Walter et al., 2022). Diese Indikatoren sind in Belastungs-beanspruchungsmodellen verankert und normativ durch die ISO-10075-Reihe fundiert. Im hier vorgestellten Ansatz dienen sie weniger der statistischen Bewertung als vielmehr der Strukturierung der Werkstattarbeit, indem subjektives Erleben in gestaltbare Kategorien übersetzt wird.

3. Methodik: Werkstattbasierte Problemraumanalyse

Der vorgestellte Ansatz der werkstattbasierten Problemraumanalyse wurde im Rahmen des Forschungs- und Transferprojekts PerspektiveArbeit Lausitz (PAL) entwickelt. PAL befasst sich mit der partizipativen Gestaltung von Arbeit und digitaler Transformation in kleinen und mittleren Unternehmen und ist als Reallabor angelegt, in dem arbeitspsychologische Diagnostik und dialogische Organisationsentwicklung systematisch miteinander verknüpft werden. Ziel ist es, organisationale Problemstellungen nicht nur analytisch zu erfassen, sondern gemeinsam mit den Beteiligten zu verstehen und zu gestalten.

Die Methodik ist als dialogisch e Vorgehensweise konzipiert, das quantitative Screeningdaten mit kollektiver Sinnstiftung verbindet. Ausgangspunkt ist die Annahme, dass organisationale Problemlagen – insbesondere im Kontext digitaler Transformation – nicht hinreichend durch isolierte Kennzahlen beschrieben werden können, sondern erst im Zusammenspiel von formalen Strukturen, technischer Logik und gelebter Arbeitspraxis sichtbar werden. Subjektive Erfahrungswelten der Mitarbeitenden werden daher systematisch einbezogen und mit arbeitspsychologischen Indikatoren trianguliert.

Die Ausgestaltung des Vorgehens orientiert sich an etablierten Phasenmodellen des Design Thinking (Understand, Observe, Point of View, Ideation, Prototyping), die hier als strukturierender Prozessrahmen zur Exploration und Verdichtung komplexer organisationaler Problemräume genutzt werden (Uebernickel et al., 2015). Die Phasen 3.1 bis 3.4 konkretisieren dieses Vorgehen anhand einer Fallstudie in einem mittelständischen Produktionsunternehmen.

3.1 Phase „Understand": Screening und Kontextanalyse

In einem ersten Schritt wird ein quantitatives Screening durchgeführt, um zentrale arbeitspsychologische Belastungsindikatoren zu erfassen und Belastungsschwerpunkte zu identifizieren. Parallel erfolgen qualitative Gespräche mit ausgewählten Schlüsselpersonen aus unterschiedlichen Funktionsbereichen. Die Ergebnisse werden nicht als abschließende Diagnosen verstanden, sondern zu vorläufigen Problemhypothesen verdichtet, die als Ausgangspunkt für die nachgelagerte Werkstattarbeit dienen (Uebernickel et al., 2015).

3.2 Phase „Observe": Abstrakte Prozesssimulation und Modellbildung

Auf Basis der identifizierten Hypothesen wird ein Werkstattformat entwickelt, das den kritischen Arbeitskontext abstrahiert, aber erlebbar abbildet. In der Fallstudie wurde hierzu ein Planspiel zur Produktionsdokumentation konzipiert, in dem zentrale Prozessschritte (Herstellung, Qualitätsprüfung, Dokumentation, Übergabe) mit einfachen Materialien wie LEGO-Elementen, Prozesskarten und Symbolen nachgebildet wurden. Das Planspiel fungiert als Boundary Object: Es ist konkret genug, um intuitiv verstanden zu werden, und zugleich abstrakt genug, um individuelle Schuldzuschreibungen zu vermeiden und den Prozessfluss in den Mittelpunkt zu rücken.

Mitarbeitende aus unterschiedlichen Funktionsbereichen übernehmen Rollen (z. B. Herstellung, Qualitätssicherung, Schichtleitung) und treffen unter realitätsnahen Bedingungen konkrete Handlungsentscheidungen. Zeitdruck, Störungen und Sonderfälle werden gezielt in die Simulation integriert. Dokumentationsanforderungen, Medienbrüche und Rückkopplungsschleifen werden dadurch unmittelbar sichtbar. Diese Phase realisiert das von Weick beschriebene Prinzip des Enactment, wonach Menschen im organisationalen Handeln „oft einen Teil der Umwelt, der ihnen gegenübertritt, selbst hervorbringen“ (Weick, 1995, S. 30; eigene Übersetzung). Probleme werden nicht abstrakt analysiert, sondern praktisch erlebt.

3.3 Phase „Point of View": Kollektive Problemraumbeschreibung

Unmittelbar an die Simulation schließt eine moderierte Reflexionsphase an. Beobachtungen aus dem Planspiel werden mit den Ergebnissen des Screenings abgeglichen. Die Teilnehmenden halten fest, was überrascht hat, wo sich Übereinstimmungen zeigen und welche neuen Einsichten entstanden sind. In moderierten Diskussionen werden Zusammenhänge, Ursachen und Wechselwirkungen verdichtet, bis eine gemeinsam getragene Problembeschreibung entsteht.

Denecke et al. (2025) betonen, dass partizipative Workshops einen sicheren und vertrauensvollen Rahmen benötigen, in dem Teilnehmende ihre Perspektiven einbringen können. Nutzerwissen wird dabei als „valide Wissensform“ verstanden, das professionelles Wissen ergänzt (S. 360; eigene Übersetzung). Die vorgelagerte Simulation trägt wesentlich zur Herstellung dieser psychologischen Sicherheit bei, da sich Aussagen auf gemeinsam Erlebtes und nicht auf individuelle Meinungen beziehen.

3.3 Phase „Ideation" und „Prototyping": Lösungsentwürfe

Auf Basis der gemeinsamen Problembeschreibung werden anschließend Lösungsansätze entwickelt, die direkt an den im Planspiel erlebten Herausforderungen ansetzen. Typische Interventionen betreffen die Reduktion redundanter Dokumentationsschritte, die Klärung von Verantwortlichkeiten und Übergaben, die Anpassung von Formularen an reale Arbeitsabläufe sowie die Einführung von Feedback-Schleifen, die den Nutzen der Dokumentation sichtbar machen. In der Fallstudie bildeten diese Ergebnisse zugleich die Grundlage für die Spezifikation eines Minimal Viable Product eines digitalen Assistenzsystems.

4. Ergebnisse und Diskussion

Der Ansatz wurde in der Süßwarenfabrik Rudolf Hoinkis GmbH in Görlitz im Jahr 2025 mit N = 24 Teilnehmenden aus verschiedenen Abteilungen pilotiert. Ausgangspunkt waren wiederkehrende Probleme mit Datenqualität und Medienbrüchen in der Produktionsdokumentation, die den Einsatz eines datenbasierten Assistenzsystems erschwerten und zu manuellen Nachbesserungen sowie Doppelerfassungen führten.

Das entwickelte Planspiel simulierte reale Dokumentationsprozesse entlang des Produktionsflusses über eine durchschnittliche Schicht hinweg (8 Stunden komprimiert auf 2 Stunden Spielzeit). Anstatt Prozesse abstrakt zu beschreiben, wurden sie für Mitarbeitende und Führungskräfte unmittelbar erfahrbar: durch Rollenübernahme, durch konkrete Handlungsentscheidungen unter Druck, durch die sichtbaren Folgen von Dokumentationsfehlern.

Eine zentrale empirische Erkenntnis des Planspiels: **Datenqualität ist primär ein organisationales, nicht ein technisches Problem.** Mitarbeitende dokumentieren zuverlässig, wenn vier Bedingungen erfüllt sind: (1) Sie verstehen Sinn und Nutzen der erhobenen Daten für ihren eigenen Arbeitskontext; (2) Sie erleben im geschützten Rahmen die direkten Konsequenzen unvollständiger oder verzögerter Dokumentation; (3) Sie sehen, wie nachgelagerte Prozesse (z. B. Qualitätssicherung, Logistik) mit ihren Eingaben arbeiten; (4) Sie sind aktiv an der Gestaltung der Dokumentationsprozesse beteiligt.

Auf Basis dieser gemeinsamen Problemraumanalyse wurden konkrete Lösungsansätze entwickelt (z. B. Vereinfachung von Erfassungswegen, Klärung von Übergabeprotokollen), die aktuell in einem Pilotprojekt umgesetzt werden und die Grundlage für ein funktionierendes datenbasiertes Assistenzsystem bilden.

Die Anwendung des werkstattbasierten Ansatzes zeigte mehrere signifikante Effekte:

Erhöhte Diagnosevalidität: Die Kombination aus standardisiertem Screening und erlebtem Planspiel ermöglichte es, quantitative Auffälligkeiten zu kontextualisieren und zu verstehen. Einzelne „Problemwerte" erwiesen sich nicht als Ausdruck individueller Defizite, sondern als strukturelle Spannungen des Systems. Zugleich wurden Belastungen sichtbar, die in standardisierten Instrumenten nur unzureichend abgebildet waren.

Stärkung psychologischer Beteiligung und Ownership: Mitarbeitende erlebten sich nicht als passive Objekte externer Analyse, sondern als Expertinnen und Experten ihrer eigenen Arbeit. Die Möglichkeit, implizites Wissen unmittelbar in der Simulation einzubringen und gemeinsam zu reflektieren, förderte Identifikation mit dem Veränderungsprozess. Dies führte zu einer messbaren Erhöhung der Bereitschaft, neue Routinen mitzugestalten – ein Effekt, den Denecke et al. (2025) als „increased ownership of the solution" (S. 370) beschreiben.

Integration sozio-technischer Perspektiven: Die Werkstattarbeit machte Abhängigkeiten zwischen Technik (IT-Systeme), organisatorischen Strukturen (Abläufe, Zuständigkeiten) und menschlichem Verhalten (Motivation, Verständnis) sichtbar. Dies folgt direkt der sozio-technischen Systemtheorie (Trist & Emery, 1973). Dadurch konnten Maßnahmenbündel entwickelt werden, die nicht nur an der Oberfläche (z. B. zusätzliche Schulungen) eingriffen, sondern strukturelle Ursachen adressierten.

Kritische Grenzen: Das Format ist moderationsintensiv und erfordert erhebliche Zeit für Vorbereitung und Durchführung. Zudem setzt es eine Offenheit seitens des Managements voraus, etablierte Problemdefinitionen in Frage stellen zu lassen – was

mit Machtverlust einhergehen kann. Ohne klare Vereinbarungen zum Umgang mit identifizierten Problemen besteht ferner die Gefahr, dass unrealistische Erwartungen geweckt werden.

5. Fazit und Ausblick

Der vorgestellte werkstattbasierte Ansatz positioniert Organisationsdiagnostik als dialogische, lernorientierte Praxis. Durch die Verbindung arbeitspsychologischer Screenings mit partizipativer Simulation und kollektiver Sinnstiftung wird der Problemraum nicht als statisches Objekt gemessen, sondern gemeinsam beschrieben und gestaltet. Dies erweist sich insbesondere im Kontext digitaler Transformation und der Einführung KI-gestützter Assistenzsysteme als wirksam, da Akzeptanz und Nutzung technischer Lösungen wesentlich von der Qualität der vorgelagerten Problemanalyse abhängen.

Für zukünftige Forschung stellt sich die Frage, wie solche Formate in größeren Organisationen skaliert werden können, welche Kompetenzen interne Moderierende benötigen und wie sich der langfristige Einfluss auf Arbeitsqualität, Datenqualität und Organisationserfolg systematisch evaluieren lässt.

6. Literatur

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). (2025). Psychische Faktoren – Handbuch Gefährdungsbeurteilung. Accessed December 28, 2025. https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung/Gefaehrdungsbeurteilung/Handbuch-Gefaehrdungsbeurteilung/Expertenwissen/Psychische-Faktoren/Psychische-Faktoren.html

Denecke, K., Rivera-Romero, O., Giunti, G., Van Holten, K., & Gabarron, E. (2025). Key Components of Participatory Design Workshops for Digital Health Solutions: Nominal Group Technique and Feasibility Study. Journal of Healthcare Informatics Research 9, 359–379. https://doi.org/10.1007/s41666-025-00199-4

International Organization for Standardization (ISO). (2024). ISO 10075-1: Ergonomic principles related to mental workload — Terms and definitions. ISO.

International Organization for Standardization (ISO). (2024). ISO 10075-2: Ergonomic principles related to mental workload — Design principles. ISO.

Kristensen, T. S., Hannerz, H., Høgh, A., & Borg, V. (2005). The Copenhagen Psychosocial Questionnaire: A tool for the assessment and improvement of the psychosocial work environment. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 31, 438–449. https://doi.org/10.5271/sjweh.948

Prümper, J., Hartmannsgruber, K., & Frese, M. (1995). KFZA – Kurzfragebogen zur Arbeitsanalyse. Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie A&O, 39, 125–131.

Trist, E., & Emery, F. E. (1973). Towards a Social Ecology: Contextual Appreciations of the Future in the Present. Plenum Press.

Trist, E. (1981). The evolution of socio-technical systems. Ontario Ministry of Labour.

Uebernickel, F., Brenner, W., Pukall, B., Naef, T., Schindlholzer, B. (2015) Design Thinking das Handbuch, FAZ-Verlag

Walter, G., Roitzsch, K., & Schmidt, M. (2022). *Der BASA – Für Gesundheit, Motivation und Unternehmenserfolg*. Hochschule Zittau/Görlitz. Accessed December 28, 2025. https://basatest.com

Weick, K. E. (1995). Sensemaking in Organizations. Sage Publications.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank allen Impulsgebern aus dem gemeinsamen Projekt „Perspektive Arbeit Lausitz“ in dessen Rahmen wir die Fallstudie zum Test der Einführung von KI-Assistenzsystemen entwickelt haben insbesondere den mit uns kooperierenden Unternehmen.

Didaktische Wirksamkeit in VR: Erfolgsfaktor für berufliche Bildung in der Pharmaindustrie?

Marikje KAUFMANN

Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel
Heinrich-Plett-Str. 40, D-34132 Kassel

Kurzfassung: Der Beitrag stellt ein Promotionsvorhaben zur didaktischen Wirksamkeit von Virtual Reality (VR) in der beruflichen Bildung der Pharmaindustrie vor. Vor dem Hintergrund von Fachkräftemangel, hohen regulatorischen Anforderungen und begrenzten Lernmöglichkeiten im Produktionsbetrieb wird VR als potenziell geeignetes Qualifizierungsinstrument betrachtet. Ziel ist es zu untersuchen, unter welchen didaktischen Gestaltungsbedingungen VR Lernen im betrieblichen Kontext wirksam unterstützen kann. Methodisch wird ein kombinierter Ansatz aus längsschnittlicher Feldstudie in KMU der pharmazeutischen Industrie und ergänzenden Laborexperimenten verfolgt. Erwartet werden Erkenntnisse zu wirksamen didaktischen Gestaltungsprinzipien für praxisnahe VR-Qualifizierungskonzepte in stark regulierten Branchen.

Schlüsselwörter: Virtual Reality, Berufliche Bildung, KMU, Pharmaindustrie, Didaktische Wirksamkeit

1. Einleitung

Die deutsche Pharmaindustrie ist gegenwärtig mit einer Vielzahl an Herausforderungen konfrontiert, von denen insbesondere der zunehmende Fachkräftemangel (Kirchhoff et al., 2024) sowie die hohe Regulierungsdichte hervorzuheben sind, die die Einhaltung höchster Qualitäts- und Sicherheitsstandards in Produktions- und Distributionsprozessen – etwa im Rahmen von *Good Manufacturing Practice (GMP)* und *Good Distribution Practice (GDP)*) sicherstellen soll („Menschen, Prozesse, Material – die Produktion“, 2020).

Die regulatorischen Anforderungen haben unmittelbare Auswirkungen auf die Bedeutung und inhaltliche Ausgestaltung der beruflichen Bildung in der pharmazeutischen Industrie. Zum einen sind regelmäßige Schulungen und Rezertifizierungen verbindlich vorgeschrieben, wodurch Weiterbildung nicht lediglich als strategisches Instrument, sondern als regulatorische Verpflichtung zu verstehen ist (Priesack, 2019). Zum anderen schränken die notwendigen, streng regulierten Prozessvorgaben die Handlungsspielräume der Beschäftigten in der Produktion deutlich ein, was die Möglichkeiten für arbeitsplatznahes und erfahrungsbasiertes Lernen erheblich begrenzt (Priesack, 2019). Vor dem Hintergrund des Fachkräftemangels verschärft sich die Situation zusätzlich, da Unternehmen zunehmend vor der Herausforderung stehen, neue oder umgeschulte Mitarbeitende zeit- und ressourcenschonend zu qualifizieren (Walker et al., 2024). Damit rückt die Frage nach geeigneten Lehr- und Lernformaten in den Fokus, die sowohl regulatorischen als auch betrieblichen Anforderungen gerecht werden können.

Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen des BMFTR-geförderten Projekts

PharmaXR ein spezifisches Anwendungsszenario untersucht, das sich auf die Qualifizierung von Mitarbeitenden in der pharmazeutischen Produktion konzentriert. Ziel ist es, prozedurales Wissen zu Produktionsprozessen so zu vermitteln, dass der laufende Betrieb nicht unterbrochen werden muss und die Lerninhalte orts- und zeitunabhängig verfügbar sind. Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen deuten darauf hin, dass sich Virtual-Reality-Technologie (VR) hierfür als geeignet erweisen *kann*, da sie die realitätsnahe Vermittlung komplexer Prozessabläufe in einem geschützten, virtuellen Rahmen ermöglicht (Kaufmann & Kranz, 2025).

2. Virtual Reality als wirksame Lerntechnologie? – Stand der Forschung und Forschungsbedarf

Virtual Reality (VR) (ITU, o. J.) wird im Folgenden in Anlehnung an die Definition der *International Telecommunication Union* (ITU) als computergenerierte, *immersive* Umgebung verstanden, die es Nutzenden durch das hohe *Präsenz*gefühl ermöglicht, in eine dreidimensionale, simulierte Welt einzutauchen. Ursprünglich aus der Spiele-Industrie bekannt, lässt sich in den vergangenen Jahren ein zunehmendes Interesse von Forschung und Praxis an VR als Lerntechnologie in sämtlichen Bildungsbereichen beobachten.

2.1 Stand der Forschung zur Nutzung von VR in Lernkontexten

Gleichwohl ist VR als Lerntechnologie in der Praxis bislang nicht flächendeckend etabliert. Als Gründe werden einerseits die weiterhin hohen finanziellen und zeitlichen Aufwände für Entwicklung und nachhaltige Implementierung von *Virtual Reality Learning Environments* (VRLE) genannt (Albus, 2023; Jensen & Konradsen, 2018). Andererseits ergibt sich eine wesentliche Hürde daraus, dass entwickelte VR-Umgebungen häufig nur mit vertieften Programmierkenntnissen angepasst werden können und so nach Auslieferung wenig flexibel für Lernkontexte anpassbar sind (Fink et al., 2023). Andererseits wird die Wirksamkeit von VR im Vergleich zu anderen Medienformaten wie Augmented Reality oder klassischen Lernvideos in der Forschung uneinheitlich bewertet (Daling et al., 2023; Mulders, 2022).

2.2 Didaktische Gestaltung als zentrale Wirkbedingung

Diese kontroversen Befunde lassen sich unter anderem darauf zurückführen, dass viele Studien VR primär als Technologie betrachten und Lernwirksamkeit auf Basis von Medienvergleichen untersuchen. Ein solcher Zugang greift jedoch zu kurz, da er zentrale didaktische Einflussfaktoren außer Acht lässt.

Aktuelle Arbeiten aus der Lernpsychologie und Bildungstechnologie betonen, dass nicht die Technologie selbst, sondern deren didaktische Gestaltung entscheidend für den Lernerfolg ist (Kerres, 2024; Mulders, 2022). Mulders weist darauf hin, dass Lernen stets aus dem Zusammenspiel verschiedener Faktoren resultiert, von denen die Visualisierungstechnologie nur einen Teil ausmacht (Mulders, 2022). Entsprechend argumentiert Makransky, dass immersive Medien allein keinen Mehrwert garantieren, wohl aber effektiv gestaltete instruktionale Methoden innerhalb virtueller Umgebungen (Makransky, 2021). Zwar existieren inzwischen zahlreiche Studien zu Gestaltungsprinzipien und kognitiven Effekten von VR-Lernen (Baceviciute & Makransky, 2021;), belastbare Erkenntnisse zur langfristigen Wirksamkeit von VR in

realitätsnahen Arbeitskontexten fehlen jedoch weitgehend (Oje et al., 2025). Zudem konzentriert sich die bisherige Forschung überwiegend auf kurzfristige Laborexperimente im schulischen oder hochschulischen Umfeld und vernachlässigt die berufliche Bildung (Oje et al., 2025).

Systematische didaktische Analysen und empirisch fundierte Wirkungsnachweise für den Einsatz von VR in der beruflichen Bildung liegen nur begrenzt vor. Daraus ergibt sich ein deutlicher Forschungsbedarf an der Schnittstelle von Mediendidaktik, Berufsbildungsforschung und industrieller Praxis.

2.3 Arbeitswissenschaftlicher Forschungsbedarf

Angesichts des zunehmenden Fachkräftemangels und der steigenden Qualifikationsanforderungen wächst der Bedarf an flexiblen und effizienten Qualifizierungsformaten für die pharmazeutische Industrie (Felkl, 2024). Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass VR künftig auch in der beruflichen Bildung stärker an Bedeutung gewinnen wird (Baceviciute & Makransky, 2021). Entscheidend ist daher weniger die Frage, ob VR in Lernkontexten künftig eingesetzt wird, sondern unter welchen didaktischen und arbeitsorganisatorischen Bedingungen ein wirksamer Einsatz gelingen kann.

Hieraus ergibt sich ein klarer Forschungsbedarf, systematisch zu untersuchen, wie VR-Lernumgebungen gestaltet sein müssen, um Lernprozesse in betrieblichen Kontexten nachhaltig zu unterstützen (Sträter et al., 2020). Insbesondere für stark regulierte Branchen wie die pharmazeutische Industrie besteht die Notwendigkeit, evidenzbasierte Konzepte zu entwickeln, die sowohl lernpsychologischen als auch arbeitswissenschaftlichen Anforderungen gerecht werden und dabei die Prinzipien der menschengerechten Arbeitsgestaltung berücksichtigen (Sträter & Bengler, 2019).

3. Anvisiertes Forschungsdesign

Das Forschungsdesign des Forschungsvorhabens der Autorin ist im Kontext des BMFTR-geförderten Projekts *PharmaXR* verortet und verfolgt das Ziel, die didaktische Wirksamkeit von Virtual-Reality-basierten Lernumgebungen in der beruflichen Bildung der pharmazeutischen Industrie empirisch zu untersuchen. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, unter welchen didaktischen Gestaltungsbedingungen VR den Wissenserwerb – insbesondere prozedurales Wissen – in realitätsnahen, betrieblichen Kontexten mittelfristig unterstützen kann.

3.1 Feldstudie im betrieblichen Kontext von PharmaXR

Die zentrale Datenerhebung erfolgt im Rahmen der Projektlaufzeit von *PharmaXR* in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) der pharmazeutischen Industrie. Über einen Zeitraum von etwa einem Jahr werden Mitarbeitende begleitet, die im Rahmen betrieblicher Qualifizierungsmaßnahmen VR-basierte Lernangebote nutzen können. Der Fokus liegt dabei auf der Erfassung des Wissenserwerbs über einen längeren Zeitraum und geht damit über kurzfristige Lerneffekte hinaus, wie sie in vielen bisherigen Studien untersucht wurden. Neben objektiven Maßen des Wissenserwerbs werden auch subjektive Dimensionen erhoben. Dazu zählen insbesondere Veränderungen in der Akzeptanz gegenüber VR-Technologie, die generelle Offenheit gegenüber neuen digitalen Technologien sowie die Einstellung zur Nutzung von VR

im beruflichen Kontext. Auf diese Weise wird nicht nur die Lernwirksamkeit, sondern auch die nachhaltige Integration von VR in betriebliche Lernprozesse in den Blick genommen.

3.2 Ergänzende Laborexperimente zur didaktischen Gestaltung

Um die in der Feldstudie gewonnenen Befunde gezielt zu vertiefen, wird das Forschungsdesign durch ergänzende Laborexperimente angereichert. Diese verfolgen das Ziel, den Einfluss spezifischer didaktischer Instruktionsansätze innerhalb von VR-Lernumgebungen systematisch zu untersuchen. Dabei wird insbesondere auf etablierte Instruktionsprinzipien auf Basis der *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML) nach Mayer (Mayer, 2021) und des *Cognitive Affective Models of Immersive Learning* (CAMIL) (Makransky & Petersen, 2021) zurückgegriffen.
In den Laborexperimenten werden unterschiedliche Varianten von VR-Lernszenarien miteinander verglichen, die sich gezielt in der Gestaltung von Instruktionen, Visualisierungen und Unterstützungsangeboten unterscheiden. Auf diese Weise soll analysiert werden, welche didaktischen Ansätze den Wissenserwerb besonders effektiv unterstützen und inwiefern sich diese Effekte auf betriebliche Lernkontexte übertragen lassen.

4. Diskussion und Ausblick

Das vorgestellte Forschungsvorhaben greift eine zentrale Forschungslücke an der Schnittstelle von Virtual Reality, beruflicher Bildung und arbeitswissenschaftlicher Gestaltung am Anwendungsfall der pharmazeutischen Industrie auf. Angesichts des Fachkräftemangels, hoher regulatorischer Anforderungen und eingeschränkter Lernmöglichkeiten im laufenden Betrieb erscheint VR für den beschriebenen Anwendungsfall grundsätzlich als geeignete Lerntechnologie. Die bisher uneinheitlichen Befunde zur Wirksamkeit von VR als Lerntechnologie unterstreichen jedoch, dass nicht nur die Technologie an sich, sondern deren didaktische Gestaltung entscheidend für den Lernerfolg ist.

Der beschriebene Forschungsansatz zielt darauf ab, eine längsschnittliche Feldstudie in KMU der pharmazeutischen Industrie mit ergänzenden Laborexperimenten anzureichern. Dadurch erhofft sich die Autorin, sowohl Erkenntnisse zur mittelfristigen Wirksamkeit und Akzeptanz von VR im betrieblichen Kontext zu erhalten als auch Erkenntnisse zu konkreten didaktischen Gestaltungsprinzipien zu gewinnen.

Einschränkend ist festzuhalten, dass die geplanten empirischen Untersuchungen in ausgewählten KMU der Pharmaindustrie voraussichtlich mit kleinen Stichproben arbeiten und sich auf spezifische Anwendungsszenarien beschränken. Infolgedessen bleibt zunächst offen, in welchem Umgang die gewonnenen Ergebnisse generalisierbar sein werden.

Im Ausblick zielt das Forschungsvorhaben darauf ab, einen Beitrag zur Entwicklung evidenzbasierter Leitlinien für den didaktisch fundierten Einsatz von VR in der beruflichen Bildung stark regulierter Branchen zu leisten. Insbesondere für KMU eröffnen die erwarteten Ergebnisse die Perspektive, praxisnahe, ressourcen-schonende und zugleich wirksame Qualifizierungskonzepte systematisch weiterzuentwickeln und nachhaltig in betriebliche Lernprozesse zu integrieren.

5. Literatur

Albus P (2023) *Virtual reality in education: Impact of instructional design on learning outcomes and cognitive load*. Universität Ulm.

Baceviciute S, Makransky G (2021) *PhD Dissertation Designing Virtual Reality for Learning*.

Felkl T (2024) Nachhaltiger Kompetenzerhalt für Nicht Routine-Situationen in digitalisierten Arbeitsumgebungen – Studien an Arbeitsplätzen der chemischen und pharmazeutischen Produktion. In *Krise und Nachhaltigkeit—Herausforderungen für berufliche Bildung: Beiträge zur 8. Berufsbildungsforschungskonferenz (BBFK)* (1. Aufl.). wbv Media GmbH & Co. KG.

Fink M C, Eisenlauer V, Ertl B (2023) What variables are connected with system usability and satisfaction? Results from an educational virtual reality field trip. *Computers & Education: X Reality*, *3*, 100043. https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100043

ITU (o. J.) *G.1035: Influencing factors on quality of experience for virtual reality services*. G.1035 : Influencing factors on quality of experience for virtual reality services. Abgerufen 18. September 2025, von https://www.itu.int/rec/T-REC-G.1035-202111-I/en

Jensen L, Konradsen F (2018) A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, *23*(4), Article 4. https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0

Kaufmann M, Kranz T (2025) PharmaXR: Ein arbeitswissenschaftlicher Projektbericht zur menschengerechten Einführung von Virtual Reality in betrieblicher Aus- und Fortbildung und organisationalem Wandel. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, *79*(4), 606–615. https://doi.org/10.1007/s41449-025-00493-2

Kerres M (2024) Mediendidaktik: Lernen in der digitalen Welt. In *Mediendidaktik*. De Gruyter Oldenbourg. https://www-1degruyterbrill-1com-19af2zajb069c.han.ub.uni-kassel.de/document/doi/10.1515/9783111201078/html

Kirchhoff J, Malin L, Schumacher S, Werner D (2024) *Fachkräftemangel: Hemmschuh für den Pharmastandort Deutschland*.

Makransky G (2021) The Immersion Principle in Multimedia Learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (3. Aufl., S. 296–303). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108894333.031

Makransky G, Petersen G B (2021) The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality. *Educational Psychology Review*, *33*(3), Article 3. https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2

Mayer R E (2021) Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (3. Aufl., S. 57–72). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108894333.008

Jung T, Fischer D, Breitenbach J (2020) Menschen, Prozesse, Material – die Produktion. In: Fischer, D., Breitenbach, J. *Die Pharmaindustrie* (5. Auflage, S. 217–256). Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61035-0_6

Mulders M (2022) *Jenseits von Medienvergleichen: Komplexe Zusammenhänge des Lernens in Virtual Reality am Beispiel des Anne Frank VR House* [DuEPublico: Duisburg-Essen Publications online, University of Duisburg-Essen, Germany]. https://doi.org/10.17185/DUEPUBLICO/76929

Oje A V, Hunsu N J, Fiorella L (2025) A systematic review of evidence-based design and pedagogical principles in educational virtual reality environments. *Educational Research Review*, *47*, 100676. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2025.100676

Priesack K (2019) *Qualität der Arbeit, Beschäftigung und Beschäftigungsfähigkeit im Wechselspiel von Technologie, Organisation und Qualifikation—Branchenbericht: Chemie- und Pharmaindustrie: Bd. FB522/4*. Bundesministerium für Arbeit und Soziales.

Sträter O, Bengler K (2019) Positionspapier Digitalisierung der Arbeitswelt. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, *73*(3), 243–245. https://doi.org/10.1007/s41449-019-00161-2

Sträter O, Jennerich M, Klose E (2020) *Wirksamkeit von Simulationstechnologien in der Aus- und Fortbildung von Fahrdienstleitern*. Deine Bahn.

Walker G, Keller A, Barabasch A (2024) Das berufliche Talent im Blick: Talentförderung in der Berufsbildung eines Schweizer Pharmaunternehmens. In *Krise und Nachhaltigkeit—Herausforderungen für berufliche Bildung: Beiträge zur 8. Berufsbildungsforschungskonferenz (BBFK)* (1. Aufl., S. 125–139). wbv Media GmbH & Co. KG.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt dem Forschungskonsortium *PharmaXR* für die konstruktive Zusammenarbeit.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Zertifizierung als Mechanismus der Institutionalisierung normativer Leitprinzipien – Eine organisationswissenschaftliche Untersuchung am Beispiel humanzentrierter KI

Katharina MORSCH

Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, D-44780 Bochum

Kurzfassung: Ziel des Dissertationsvorhabens ist es, zu analysieren, unter welchen Bedingungen ein konkreter Zertifizierungsprozess zu einer substanziellen Institutionalisierung humanzentrierter KI-Prinzipien beiträgt und wann dieser primär legitimierenden Wirkung entfaltet. Theoretisch verbindet die Arbeit neo-institutionalistische Ansätze mit der Normalization Process Theory (NPT), um externe Legitimationslogiken und interne Implementationsprozesse gemeinsam zu erfassen; Kriterien humanzentrierter KI dienen dabei als normative Bezugsgröße der Analyse. Methodisch basiert die Studie auf vergleichenden qualitativen Fallstudien realer Zertifizierungsprozesse, in denen unterschiedliche Erhebungsmethoden theoriegeleitet entlang der NPT kombiniert werden.

Schlüsselwörter: Zertifizierung, Künstliche Intelligenz, Institutionalisierung, Legitimität

1. Einleitung

Zertifizierungen und Normen haben sich in vielen organisationalen Feldern als zentrale Instrumente etabliert, um Handlungsorientierung zu schaffen, Vertrauen gegenüber externen Anspruchsgruppen aufzubauen und normative Erwartungen zu strukturieren (Brunsson et al. 2012; Yates & Murphy 2022). Im Kontext des wachsenden Einsatzes Künstlicher Intelligenz (KI) wird die Frage zunehmend relevant, ob und wie Zertifizierungsprozesse dazu beitragen können, humanzentrierte Prinzipien nicht nur formal zu adressieren, sondern nachhaltig in organisationale Entscheidungs- und Arbeitsprozesse zu integrieren oder ob sie primär eine symbolische Legitimation im Sinne eines „digital ethics washing“ (Van Maanen 2022) erzeugen. Damit rückt insbesondere die Unterscheidung zwischen substanzieller Umsetzung und bloß symbolischer Anpassung in den Fokus organisationswissenschaftlicher Analyse.

Frühere organisationswissenschaftliche Arbeiten haben bereits gezeigt, dass formale Strukturen und tatsächliche Handlungspraxis nicht notwendigerweise übereinstimmen (Meyer & Rowan 1977; DiMaggio & Powell 1983). Aufbauend darauf haben zahlreiche empirische Studien im Kontext von Qualitäts-, Umwelt- und Nachhaltigkeitsstandards herausgearbeitet, dass Standardisierungen in Form von Zertifizierungen sowohl zu substanziellen Veränderungen organisationaler Praktiken als auch zu primär symbolischer Legitimation führen können (Christmann & Taylor 2006; Boiral & Gendron 2011). Kritische Arbeiten zu Nachhaltigkeits- und Managementstandards problematisieren die begrenzte Wirksamkeit bestehender

Zertifizierungspraktiken. Boiral und Gendron (2011) weisen auf strukturelle Defizite von Auditverfahren hin und stellen infrage, inwiefern standardisierte Prüfmechanismen geeignet sind, komplexe normative Anforderungen abzubilden.

Christmann und Taylor (2006) zeigen am Beispiel internationaler Umweltstandards, dass Unternehmen Zertifizierungsprozesse strategisch nutzen und das Ausmaß tatsächlicher Implementierung variieren kann. Ihre Ergebnisse deuten darauf hin, dass symbolische Umsetzung durch ein verbessertes Auditdesign, erhöhte Transparenz von Prüfprozessen und stärkere Verantwortlichkeit der Auditor:innen reduziert werden kann. Diese Arbeiten betrachten Zertifizierung jedoch primär als externes Kontroll- und Informationsinstrument zur Reduktion von Informationsasymmetrien.

Neuere organisationswissenschaftliche Arbeiten betonen die Dynamik, Mehrdeutigkeit und Paradoxien von Standardisierungsprozessen. Haack & Rasche (2021) analysieren Standards primär als institutionelle Arrangements zur Herstellung organisationaler Legitimität. Der Fokus liegt dabei auf den Paradoxien von kognitiver und moralischer Legitimität von Standardisierung, während die innerorganisationalen Prozesse der Interpretation, Übersetzung und praktischen Verankerung normativer Anforderungen weitgehend außerhalb des analytischen Rahmens bleiben.

Offen bleibt dabei, wie Zertifizierungsprozesse innerhalb von Organisationen wirksam werden, das heißt, wie sie in Routinen, Verantwortlichkeiten und organisationale Sinnzuschreibungen übersetzt werden und damit über formale Compliance hinaus institutionelle Wirkung entfalten.

Konkret für dieses Dissertationsvorhaben, welches die wirksame Verankerung normativer Anforderungen an eine humanzentrierte Gestaltung von KI – wie etwa Transparenz oder Potenzialförderung – in organisationalen Entscheidungs- und Arbeitsprozessen im Rahmen von Zertifizierungsprozessen in den Fokus nimmt, lässt sich daraus folgende Forschungsfrage ableiten:

Unter welchen Bedingungen führen Zertifizierungsprozesse zur substanziellen Institutionalisierung humanzentrierter KI-Prinzipien, und wann verbleiben sie auf symbolischer Ebene?

2. Theoretischer Rahmen

Um sowohl Legitimationslogiken als auch die konkreten Prozesse organisationaler Verankerung analytisch fassen zu können, wird zur theoretischen Rahmung ein Bezugsrahmen entwickelt, der den Neo-Institutionalismus mit der Normalization Process Theory (NPT) verbindet, während die Kriterien humanzentrierter KI als inhaltliche Bezugsgröße fungieren, anhand derer die innerorganisationale Bearbeitung von Zertifizierungsanforderungen sowie die resultierenden Institutionalisierungspfade inhaltlich eingeordnet werden.

Der Neo-Institutionalismus bietet dabei ein etabliertes begriffliches Instrumentarium, um zu erklären, warum Organisationen formale Strukturen, Programme und Standards übernehmen, ohne dass diese zwangsläufig in alltägliche Praktiken integriert werden (Meyer & Rowan 1977). Zentrale Konzepte wie symbolische Adoption, Entkopplung sowie substanzielle versus symbolische Implementierung verweisen darauf, dass organisationale Anpassung häufig primär der Herstellung von Legitimität gegenüber externen Anspruchsgruppen dient (Meyer & Rowan 1977; DiMaggio & Powell 1983). Im Kontext von Zertifizierungen erlaubt diese Perspektive, Gütesiegel als institutionelle Arrangements zu verstehen, die Konformität signalisieren, ohne notwendigerweise tiefgreifende Veränderungen organisationaler

Routinen nach sich zu ziehen. Zugleich bleibt der Neo-Institutionalismus in vielen Arbeiten vergleichsweise abstrakt, wenn es darum geht, die konkreten Prozesse zu erklären, durch die formale Anforderungen innerhalb von Organisationen aufgegriffen, bearbeitet oder auch unterlaufen werden.

An dieser Stelle setzt die Normalization Process Theory an. Die NPT stammt ursprünglich aus der Implementierungsforschung und fokussiert darauf, wie neue Praktiken, Technologien oder Regelwerke in organisationalen Kontexten handlungsfähig werden (May et al. 2009). Sie fragt danach, durch welche sozialen Mechanismen neue Anforderungen verstanden (coherence), in bestehende Verantwortlichkeiten eingebettet (cognitive participation), praktisch umgesetzt (collective action) und reflexiv bewertet (reflexive monitoring) werden (May et al. 2022). Damit richtet sich der Blick explizit auf organisationale Aushandlungsprozesse, Sinnzuschreibungen und Routinisierungen im Arbeitsalltag.

Die Kriterien humanzentrierter KI (Wilkens et al. 2023) – unter anderem Transparenz, Nachvollziehbarkeit, Potenzialförderung und organisationale Verantwortungszuweisung – bilden innerhalb der gewählten theoretischen Rahmung die normative Bezugsgröße der Analyse. Sie fungieren nicht als abstrakte ethische Leitlinien, sondern als analytisch handhabbare Referenzpunkte, anhand derer untersucht werden kann, wie normative Anforderungen in organisationalen Kontexten aufgegriffen und bearbeitet werden.

Entscheidend ist dabei die Unterscheidung zwischen formaler Bezugnahme auf humanzentrierte Kriterien und ihrer tatsächlichen praktischen Verankerung. Eine substanzielle Institutionalisierung zeigt sich nicht allein in dokumentierten Zuständigkeiten oder formalen Regelwerken, sondern in der Art und Weise, wie die Kriterien in Entscheidungsprozesse, Arbeitsroutinen und Verantwortungsstrukturen integriert werden. Umgekehrt kann eine primär symbolische Umsetzung darin bestehen, dass humanzentrierte Anforderungen zwar explizit adressiert werden, jedoch ohne erkennbare Auswirkungen auf organisationale Praktiken bleiben. Der normative Referenzrahmen ermöglicht es somit, empirisch zu prüfen, woran sich „gelebte“ Humanzentrierung von bloßer formaler Compliance unterscheiden lässt.

Gelebte Humanzentrierung lässt sich dabei insbesondere daran erkennen, ob und wie die normativen Kriterien in organisationale Entscheidungslogiken übersetzt werden. Während eine oberflächliche Umsetzung dadurch gekennzeichnet ist, dass humanzentrierte Anforderungen primär als externe Audit-Vorgabe oder formale Checklistenanforderung behandelt werden, ist davon auszugehen, dass Verantwortlichkeiten in solchen Fällen häufig diffus bleiben, Maßnahmen nur lose gekoppelt sind und Reflexionen über Zielkonflikte ausbleiben. Aus einer neo-institutionalistischen Perspektive entspricht dies Formen der Entkopplung, die durch schwach ausgeprägte kollektive Handlungs- und Reflexionsprozesse im Sinne der NPT flankiert werden.

Demgegenüber ist von einer substanziellen Institutionalisierung auszugehen, wenn humanzentrierte Kriterien nicht nur formal benannt, sondern aktiv in Rollen, Prozesse und Entscheidungspraktiken eingebettet werden. Dies zeigt sich etwa darin, dass Verantwortlichkeiten klar zugewiesen sind, Zielkonflikte zwischen Effizienz-, Leistungs- und Humanzentrierungsanforderungen explizit thematisiert und bearbeitet werden und Lern- sowie Anpassungsmechanismen etabliert sind. Humanzentrierung wird in solchen Fällen nicht allein über das Vorhandensein bestimmter Maßnahmen sichtbar, sondern über die Art und Weise, wie organisationale Akteur:innen fortlaufend auf die normativen Kriterien Bezug nehmen und diese im Arbeitsalltag praktisch zur Geltung bringen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die bestehende Forschung belegt, dass Zertifizierungen sowohl substanzielle als auch symbolische Effekte entfalten können. Während der Einfluss von Sanktionen oder strengere Kontrollen durch Stakeholder symbolische Nutzung potenziell begrenzen (Christmann & Taylor 2006), bleibt bislang unzureichend verstanden, wie konkrete Zertifizierungsprozesse organisationale Wirkungen entfalten: Als prozessualer Mechanismus der Institutionalisierung, in denen normative Anforderungen interpretiert, verhandelt und in Routinen, Verantwortlichkeiten und Entscheidungspraktiken eingebettet werden.

Vor diesem Hintergrund zielt das Dissertationsprojekt darauf ab, die Bedingungen zu analysieren, unter denen Zertifizierungsprozesse zur substanziellen Institutionalisierung humanzentrierter KI-Prinzipien beitragen und jene Konstellationen zu identifizieren, in denen Zertifizierung primär symbolische Wirkung entfaltet.

3. Methodisches Vorgehen

Die empirische Analyse erfolgt im Rahmen vergleichender qualitativer Fallstudien. Innerhalb der einzelnen Fälle werden verschiedene Erhebungsmethoden kombiniert, um zu rekonstruieren welche Konstellationen bzw. welche Bedingungen im Kontext von Zertifizierungsprozessen in welchen Institutionalisierungspfad münden. Leitfadengestützte Interviews, Dokumentenanalysen und teilnehmende Beobachtungen eröffnen jeweils spezifische Zugänge zu den zentralen Konstrukten der Normalization Process Theory. Wie in Abbildung 1 unter Punkt 3 dargestellt erfolgt die Auswertung entlang der vier NPT-Dimensionen coherence (Wie werden humanzentrierte Anforderungen verstanden und interpretiert? Wird Zertifizierung als Pflicht oder als Gestaltungsinstrument wahrgenommen?), cognitive participation (Wer übernimmt die organisationale Verantwortung für den Zertifizierungsprozess? Wer treibt die Umsetzung voran? Wer trägt Verantwortung jenseits der formalen Rolle?), collective action (Wie werden Anforderungen praktisch in Routinen, Entscheidungen und Prozesse übersetzt?) und reflexive monitoring (Wie wird die Umsetzung bewertet, überprüft und weiterentwickelt?), wobei die unterschiedlichen Datenquellen entsprechend der Dimensionen trianguliert werden.

Wie in Abbildung 1 unter Punkt 2 dargestellt, bildet die Prozesszertifizierung den institutionellen Rahmen, über den normative Kriterien humanzentrierter KI als inhaltliche Bezugsgröße der Untersuchung in organisationale Kontexte eingebracht werden. Diese Zertifizierung wurde in Kooperation zwischen dem vom BMFTR geförderten Projekt HUMAINE („Humanzentrierung von Künstlicher Intelligenz in Arbeitssysteme“) in Kooperation mit der TÜV Rheinland Cert GmbH im Zuge der Projektverstetigung entwickelt. Sie basiert auf einer wissenschaftlich fundierten Checkliste (Wilkens et al. 2023), die entlang humanzentrierter Kriterien konkrete Anforderungen an den betrieblichen KI-Einsatz formuliert. Humanzentrierung wird dabei in den Dimensionen Technologie-, Organisations- und Personalentwicklung operationalisiert. Ziel ist es, Unternehmen für eine menschenzentrierte KI-Nutzung zu sensibilisieren und zugleich organisatorische Strukturen zu fördern, die einen nachhaltigen humanzentrierten Nutzung der eingesetzten KI-Systeme unterstützen. Die Zertifizierung wird erteilt, wenn dokumentierte Zuständigkeiten, Maßnahmen und Prozesse die Einhaltung der Kriterien dauerhaft und nachvollziehbar absichern. Dies ermöglicht den Einblick in reale Zertifizierungspraktiken sowie in unterschiedliche Stufen des Auditierungsprozesses.

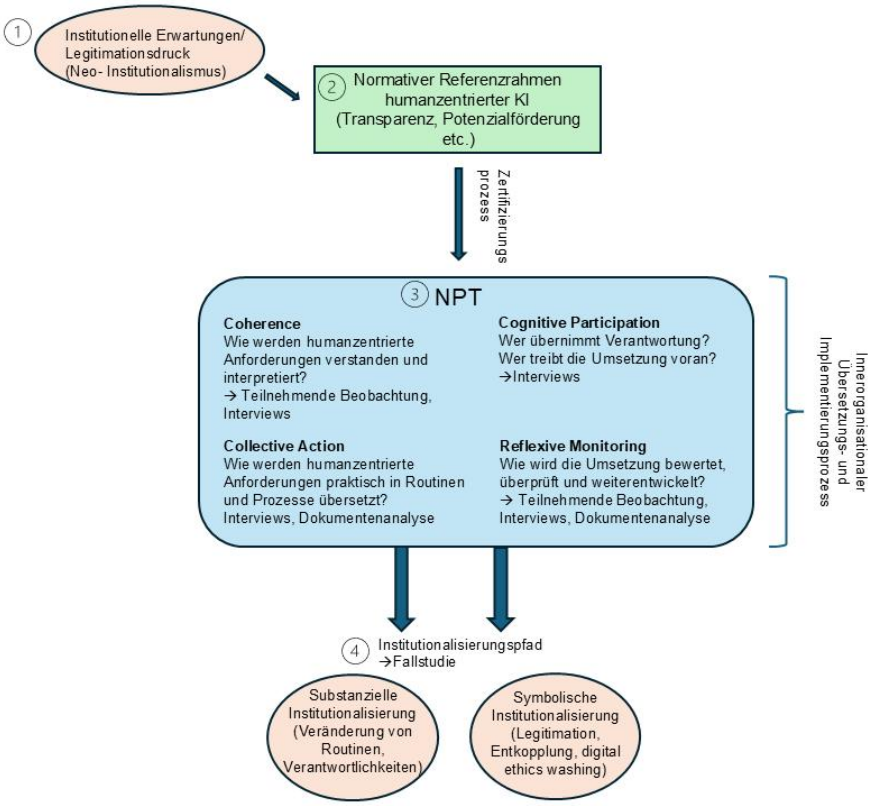


***Abbildung 1**: Untersuchungsmodell.*

Im Sinne der Forschungsfrage sollen Forschungsmethoden herangezogen werden, die wertvolle Informationen liefern, um unterscheiden zu können, in welchen Konstellationen es zu welchem Institutionalisierungspfad kommt. Dabei sollen unterschiedliche Dimensionen der NPT mithilfe jeweils geeigneter Forschungsmethoden erschlossen werden.

Der Fokus liegt zunächst auf Erstaudits, da diese einen Zugang zu frühen Phasen organisationaler Institutionalisierung bieten. In diesen Phasen lassen sich zentrale Vorbereitungslogiken, Übersetzungsleistungen und Verantwortungszuschreibungen (May et al. 2022) identifizieren, die als Frühindikatoren für substanzielle oder symbolische Implementationspfade herangezogen werden können. Sofern es der Projektverlauf ermöglicht, sollen einzelne Unternehmen im Rahmen einer Rezertifizierung nach etwa einem Jahr erneut einbezogen werden. Diese Längsschnittperspektive dient der analytischen Verdichtung, indem überprüft wird, wie sich initial rekonstruierte Implementationslogiken im Sinne der NPT-Dimension Reflexive Monitoring stabilisieren, verändern oder verfestigen.

Vorgesehen ist dabei ein mehrstufiges Vorgehen. Zum einen sollen leitfadengestützte Interviews mit Verantwortlichen aus mehreren Unternehmen geführt werden, die am Zertifizierungsprozess teilnehmen. Ziel ist es, unterschiedliche Perspektiven auf Implementation, Herausforderungen und wahrgenommene Wirkung des Gütesiegels entsprechend der vier NPT-Dimensionen zu erfassen. Insgesamt sind, abhängig vom Zugang und der Komplexität der Fälle etwa 30 Interviews geplant, die transkribiert und nach dem Verfahren der inhaltlich-strukturierenden Inhaltsanalyse ausgewertet werden.

Zum anderen soll eine Dokumentenanalyse von Organisationsrichtlinien, Prozessbeschreibungen und weiterer Auditunterlagen durchgeführt werden, um sowohl die formale Ebene der Verankerung humanzentrierter Prinzipien als auch

mögliche Diskrepanzen zwischen formaler und gelebter Praxis sichtbar zu machen. Diese Materialien ermöglichen eine systematische Prüfung, inwieweit zentrale Prinzipien operationalisiert oder lediglich rhetorisch adressiert werden.

Es wäre außerdem die teilnehmenden Beobachtungen in ausgewählten Auditsequenzen als weiteres methodisches Mittel denkbar, was sowohl Informationen für die NPT-Dimensionen Coherence als auch für Reflexive Monitoring liefern kann, da die direkte Beobachtung des Zertifizierungsprozesses Einblicke in Interaktionen, Argumentationsmuster und Entscheidungslogiken der Auditor:Innen und Unternehmensvertreter:innen ermöglicht. Insbesondere bietet sie die Chance, die Mechanismen sichtbar zu machen, die in Interviews schwer zugänglich sind, wie etwa implizite Erwartungen, Aushandlungsmomente oder Praktiken, die auf symbolische Konformität hindeuten könnten.

Die Dissertation soll damit einen Beitrag zur organisationswissenschaftlichen Standardisierungsforschung leisten, indem sie empirisch zeigt, wie Zertifizierungsprozesse als Mechanismus der Institutionalisierung normativer Leitprinzipien beitragen können und unter welchen Bedingungen diese Prozesse über symbolische Anpassung hinausgehen.

4. Literatur

Boiral O, Gendron Y (2011) Sustainable Development and Certification Practices: Lessons Learned and Prospects. Business Strategy and the Environment, 20(5), 331-347.

Brunsson N, Rasche A, Seidl D (2012) The Dynamics of Standardization: Three Perspectives on Standards in Organization Studies. Organization Studies 33(5–6): 613-632.

Christmann P, Taylor G (2006) Firm Self-regulation through International Certifiable Standards: Determinants of Symbolic versus Substantive Implementation. Journal of International Business Studies 37(6)

DiMaggio PJ, Powell WW (1983) The Iron Cage Revisited: Institutional Isomorphism and Collective Rationality in Organizational Fields. American Sociological Review, 48(2): 147-160.

Haack P, Rasche A (2021) The Legitimacy of Sustainability Standards: A Paradox Perspective. Organization Theory 2(4): 1-25.

May CR, Albers B, Bracher M, Finch TL, Gilbert A, Girling M, Greenwood K, MacFarlane A, Mair FS, May CM, Murray E, Potthoff S, Rapley T (2022) Translational framework for implementation evaluation and research: a normalisation process theory coding manual for qualitative research and instrument development. Implementation Science 17 (19).

May CR, Mair F, Finch T, MacFarlane A, Dowrick C, Treweek S, Rapley T, Ballini L, Ong BN, Rogers A, Murray E, Elwyn G, Légaré F, Gunn J, Montori VM (2009) Development of a Theory of Implementation and Integration: Normalization Process Theory. Implementation Science 4 (29).

Meyer JW, Rowan B (1977) Institutionalized Organizations: Formal Structure as Myth and Ceremony. American Journal of Sociology 83 (2)

Van Maanen, G (2022) AI Ethics, Ethics Washing, and the Need to Politicize Data. Ethics. Digital Society 1 (9)

Wilkens U, Lupp D, Langholf V (2023) Configurations of human-centered AI at work: Seven actor-structure engagements in organizations. Frontiers in Artificial Intelligence 6.

Yates J, Murphy CN (2022) Introduction: Standards and the Global Economy. Cambridge University Press 96: 3-15.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Wie Künstliche Intelligenz das kritische Denken in Teams beeinflusst: Eine experimentelle Studie

Thushayanthini SIVATHEERTHAN

Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, D-44801 Bochum

Kurzfassung: In diesem Dissertationsvorhaben wird untersucht, wie generative Künstliche Intelligenz (KI) kritisches Denken in Teams beeinflusst. Ausgangspunkt ist die Annahme, dass KI die Verteilung und Struktur kritischen Denkens systematisch verändert: Während Teams analytische und synthetische Funktionen teilweise an KI auslagern, entstehen erhöhte Anforderungen an die Bewertung von KI-Outputs und die reflexive Auseinandersetzung mit dem KI-Einsatz. Theoretisch stützt sich die Arbeit auf Bloom et al.'s (1956) Taxonomie kognitiver Lernziele und Schöns (1983) Konzept reflexiver Praxis. Empirisch werden kritisches Denken in KI-gestützten und nicht-KI-gestützten Teams experimentell auf Prozessebene verglichen.

Schlüsselwörter: KI, Kritisches Denken, Teaminteraktion, Kognitive Taxonomie, Laborexperiment

1. Einleitung

Aufgrund ihrer Fähigkeit, große Datenmengen zu analysieren, komplexe Muster zu identifizieren und datenbasierte Vorhersagen zu generieren, werden KI-Systeme zunehmend zur Unterstützung kognitiver Arbeitsprozesse in der Wissensarbeit eingesetzt (Dăniloaia & Turturean 2024). Ihr Einsatz verändert dabei nicht nur Arbeitsergebnisse, sondern auch zentrale kognitive Prozesse wie Informationsverarbeitung, Urteilsbildung und kritisches Denken (Tian & Zhang 2024), etwa durch veränderte Verantwortungszuschreibungen (Krügel et al. 2025) oder durch erhöhtes Vertrauen in algorithmische Empfehlungen (Logg et al. 2019).

Erste Befunde deuten darauf hin, dass KI den wahrgenommenen Aufwand für kritisches Denken reduziert, beziehen sich jedoch überwiegend auf individuelle Nutzungsszenarien (Lee et al. 2025).

Da komplexe Entscheidungen in organisationalen Kontexten typischerweise kollaborativ getroffen werden, ist kritisches Denken häufig ein geteilter Prozess, der sich in Teaminteraktionen, Diskussionen und gemeinsamen Bewertungen zeigt (Hinsz et al. 1997).

Ziel der ersten Studie dieser kumulativen Dissertation ist es daher, zu untersuchen, wie sich kritisches Denken in Teams durch die Integration generativer KI in seiner Struktur, Verteilung und Ausprägung unterscheidet.

2. Theoretischer Hintergrund

In der Forschung wird kritisches Denken disziplinübergreifend untersucht, was zu einer Vielzahl unterschiedlicher Definitionen und theoretischer Rahmenmodelle aus

Philosophie, Psychologie und Bildungswissenschaften geführt hat (Dwyer et al. 2014; Lai 2011). Eine einheitliche Definition existiert bislang nicht. Übereinstimmend beschreiben die verschiedenen Ansätze kritisches Denken jedoch als Bündel kognitiver Fähigkeiten, das unter anderem das Analysieren von Argumenten, das Ziehen logischer Schlussfolgerungen sowie das Beurteilen und Evaluieren von Informationen und Handlungsoptionen umfasst (Lai 2011).

Kritisches Denken in Teams unterscheidet sich dabei grundlegend von individuellem kritischem Denken: Es entsteht als emergenter, verteilter Prozess, bei dem kognitive Funktionen arbeitsteilig übernommen, Perspektiven ausgehandelt und Bewertungen gemeinsam vorgenommen werden (Hinsz et al. 1997). Teams können dadurch kognitive Leistungen erbringen, die einzelne Mitglieder allein nicht erreichen würden, müssen jedoch Informationen teilen, Argumente abstimmen und Entscheidungen kollektiv treffen.

Zur Untersuchung kritischen Denkens im Kontext KI-gestützter Teamarbeit stützt sich die vorliegende Studie auf Bloom et al.'s (1956) Taxonomie kognitiver Lernziele sowie auf Donald Schöns (1983) Konzept der reflexiven Praxis. Beide Ansätze erfassen unterschiedliche, für Teamentscheidungen relevante Dimensionen kritischen Denkens: Während Bloom et al.'s (1956) Taxonomie eine Einordnung des kognitiven Anspruchsniveaus ermöglicht und auch in jüngeren Studien zur Analyse kritischen Denkens mit KI herangezogen wird (Lee et al. 2025), beschreibt Schöns (1983) Ansatz, wie diese Denkprozesse in konkreten kooperativen Arbeitssituationen umgesetzt und reflektiert werden. Die Kombination beider Ansätze ermöglicht eine systematische Erfassung, kritischen Denkens sowohl hinsichtlich seines kognitiven Anspruchsniveaus als auch seiner prozessualen Umsetzung in KI-gestützten Teaminteraktionen.

2.1 Taxonomie kognitiver Lernziele nach Bloom et al. (1956)

Bloom et al.’s (1956) Taxonomie beschreibt eine hierarchische Ordnung kognitiver Lernziele, die von einfachen zu zunehmend komplexen Denkprozessen reicht. In der klassischen Fassung werden sechs Stufen unterschieden: Wissen, Verstehen, Anwenden, Analysieren, Synthese und Bewerten. Für Teamkontexte erlaubt diese Hierarchie eine Differenzierung zwischen reinem Informationsaustausch und der gemeinsamen Ausführung höherer kognitiver Prozesse (Bloom et al. 1956). Insbesondere Analyse, Synthese und Evaluation gelten dabei als zentrale Komponenten kritischen Denkens (Dwyer et al. 2014; Lai 2011).

Für KI-gestützte Teamentscheidungen sind diese höheren kognitiven Prozesse besonders relevant, da Teams KI-generierte Informationen nicht nur übernehmen, sondern deren Qualität, Plausibilität und Implikationen gemeinsam bewerten müssen. Bloom et al.‘s (1956) Taxonomie bietet damit eine konzeptionelle Grundlage, um das Niveau kritischen Denkens in Teaminteraktionen systematisch zu erfassen.

2.2 Reflexive Praxis nach Schön (1983)

Während Bloom et al. (1956) Taxonomie das kognitive Anspruchsniveau beschreibt, fokussiert Schöns (1983) Konzept der reflexiven Praxis auf die prozessuale Einbettung kritischen Denkens in das Handeln. In Teamarbeit zeigt sich Reflexion in gemeinsamen Aushandlungsprozessen, etwa wenn Annahmen hinterfragt, Entscheidungen angepasst oder unerwartete Ergebnisse diskutiert werden. Schön (1983) unterscheidet dabei zwischen Reflexion während des Handelns

(*reflection-in-action*) und Reflexion nach Abschluss einer Handlung (*reflection-on-action*).

In KI-gestützten Teams können beide Formen auftreten, etwa wenn Teams während der Nutzung eines KI-Systems Zweifel an dessen Output äußern oder im Nachgang Entscheidungen gemeinsam reflektieren.

Die Kombination beider Ansätze in der vorliegenden Studie ermöglicht es, kritisches Denken nicht nur hinsichtlich seines Anspruchsniveaus, sondern auch hinsichtlich seiner konkreten Umsetzung in KI-gestützten Teamentscheidungen systematisch zu erfassen.

3. Aktueller Forschungsstand

Wie KI kognitive Arbeitsprozesse beeinflusst, wurde bislang überwiegend auf individueller Ebene untersucht. Empirische Befunde zeigen, dass generative KI den wahrgenommenen Aufwand für kritisches Denken reduziert und zugleich dessen Ausübung verändert: Mit KI-Unterstützung verlagern sich Denkprozesse von der Informationssammlung zur Verifizierung und Integration KI-generierter Vorschläge sowie von eigenständiger Problemlösung zur Überwachung und Steuerung der Aufgabenbearbeitung (Lee et al. 2025). Gleichzeitig können selbst Hinweise der KI auf potenzielle Fehlleistungen Überabhängigkeit begünstigen, da Nutzende darauf vertrauen, dass das System seine eigenen Schwächen zuverlässig offenlegt (Drosos et al. 2025). Zusammengenommen legen diese Befunde nahe, dass KI Analyse- und Syntheseleistungen teilweise entlastet, zugleich jedoch erhöhte Anforderungen an Bewertung, Kontrolle und Reflexion erzeugt.

Da komplexe Entscheidungen in organisationalen Kontexten überwiegend in Teams getroffen werden, sind Veränderungen individueller Denkprozesse nicht isoliert zu betrachten. Kritisches Denken entsteht hier als koordinierter, verteilter Prozess, in dem Analyse, Bewertung und Reflexion arbeitsteilig erfolgen. Verschieben sich durch KI die Anforderungen einzelner Denkprozesse, ist daher auch von Veränderungen in Struktur und Dynamik kritischen Denkens auf Teamebene auszugehen.

Hinweise auf mögliche strukturelle Folgen dieser Verschiebungen liefern Studien zu individuellen Arbeitsergebnissen. So erhöht der Einsatz generativer KI zwar die Quantität und Detailtiefe von Ideen, geht jedoch mit einer stärkeren Homogenität der Ergebnisse einher (Anderson et al. 2024). Ob und wie sich solche Effekte in Teamkontexten verstärken, abschwächen oder qualitativ verändern, ist bislang jedoch ungeklärt. Empirische Studien zur KI-gestützten Teamarbeit zeigen zwar deutliche Leistungsgewinne bei komplexen Aufgaben sowie eine starke Orientierung an KI-generierten Inhalten (Dell'Acqua et al. 2025), fokussieren jedoch primär Effizienz und Ergebnisqualität.

Offen bleibt damit, wie diese Leistungsgewinne zustande kommen und welche Formen kritischen Denkens den Teamentscheidungen zugrunde liegt. Insbesondere ist bislang unklar, ob und wie KI-Unterstützung die Struktur, Verteilung und Tiefe kritischer Denkprozesse in Teams beeinflusst, etwa im Hinblick auf die Balance zwischen Analyse, Synthese, Bewertung und reflexiver Auseinandersetzung mit KI-generierten Informationen.

Die vorliegende Studie setzt an dieser Forschungslücke an, indem sie in einem kontrollierten Laborexperiment kritisches Denken in KI-gestützten und nicht KI-gestützten Teams auf Prozessebene untersucht und damit über reine Leistungsindikatoren hinausgeht.

4. Studiendesign

Die geplante Studie untersucht den Einfluss generativer KI auf kritisches Denken in Teams. Hierzu ist ein experimentelles Between-Groups-Design vorgesehen mit zwei Bedingungen: Teamarbeit ohne KI-Unterstützung (Kontrollbedingung) und Teamarbeit mit KI-Unterstützung (Experimentalbedingung). Die Teams bestehen dabei jeweils aus vier bis fünf Personen. In Anlehnung an Dell'Acqua et al. (2025) wird die KI in der Experimentalbedingung nicht individuell, sondern über ein gemeinsames Interface genutzt. Dadurch agiert das Team als kohärente Einheit, und die KI fungiert als gemeinsamer kognitiver Bezugspunkt (*cybernetic teammate*), statt als paralleles Werkzeug einzelner Teammitglieder. Dieses Vorgehen erlaubt es, kollektive Denkprozesse auf Teamebene zu untersuchen.

Als Teamaufgabe ist ein komplexes klinisches Entscheidungsproblem vorgesehen, bei dem auf Basis eines umfangreichen, teilweise widersprüchlichen Patientendatensatzes eine begründete Diagnose getroffen werden muss. Das Szenario ist so gestaltet, dass mehrere Diagnosen plausibel erscheinen und keine Lösung allein durch das Abrufen einzelner Fakten offensichtlich ist. Damit erfordert die Aufgabe explizit Analyse, Synthese und Bewertung von Informationen.

Die Daten sind so strukturiert, dass sie eine aktive Auseinandersetzung und gemeinsame Interpretation im Team notwendig machen. Ziel ist nicht nur die Auswahl einer Diagnose, sondern eine begründete Entscheidung, die alternative Erklärungen explizit berücksichtigt. Zur systematischen Initiierung und Vergleichbarkeit kritischen Denkens ist die Aufgabe in mehrere aufeinander aufbauenden Phasen gegliedert, die in beiden Bedingungen identisch strukturiert sind. In der Kontrollbedingung bearbeiten die Teams alle Phasen ohne KI-Unterstützung. In der Experimentalbedingung steht den Teams während der Analyse- und Synthesephase eine generative KI zur Verfügung. Die Nutzung der KI ist optional; alle Entscheidungen verbleiben ausdrücklich beim Team.

Tabelle 1: *Phasenstruktur der Teamaufgabe und KI-Integration.*

Phase (Ziel)	**Teamaktivität**	**Rolle der KI (Experimentalgruppe)**
1. Analyse (Analysieren)	Sichtung und Strukturierung der Patientendaten; Identifikation relevanter und widersprüchlicher Informationen	Unterstützung bei Zusammenfassungen oder Strukturierung auf Anfrage
2. Hypothesenbildung (Synthese)	Entwicklung mehrerer plausibler Diagnosen im Team	Vorschläge alternativer Hypothesen; Benennung möglicher Unsicherheiten
3. Entscheidung (Bewertung)	Abwägung der Diagnosen und Festlegung auf eine Lösung	Keine Entscheidung; ggf. argumentative Pro-/Contra-Darstellung
4. Reflexion (*reflection-on-action)*	Gemeinsame Reflexion über Entscheidungsprozess und Rollenverteilung	Kein Input; Reflexion erfolgt teamintern

Die Auswertung erfolgt auf Ergebnis- und Prozessebene. Die unabhängige Variable ist die Art der Teamunterstützung (Teamarbeit mit vs. ohne KI). Als abhängige Variable werden auf Ergebnisebene die Entscheidungsgenauigkeit und die Bearbeitungszeit, zwischen der Experimental- und der Kontrollbedingung verglichen. Auf Prozessebene

werden die Teaminteraktionen transkribiert und inhaltsanalytisch ausgewertet. Kodiert wird, welche Formen kritischen Denkens im Team auftreten, insbesondere analytische Beiträge (z. B. Identifikation relevanter Informationen und Widersprüche), synthetische Beiträge (z. B. Verknüpfung mehrerer Informationen zu Hypothesen) sowie evaluative Beiträge (z. B. begründetes Abwägen von Alternativen). Die Kodierung erfolgt unabhängig von den formalen Phasen der Aufgabe, sodass sichtbar wird, wie sich Struktur und Schwerpunkt kritischen Denkens zwischen KI-gestützten und nicht KI-gestützten Teams unterscheiden.

5. Ausblick

Die Studie ist Teil einer kumulativen Dissertation zu kritischem Denken in KI-gestützten Teams. Die Dissertation umfasst eine theoretisch-konzeptionelle Arbeit, die auf Basis von Bloom et al. (1956) und Schön (1983) analysiert, wie sich die Verteilung kognitiver Prozesse (Analyse, Synthese, Evaluation) sowie reflexive Praktiken in Teams durch die Integration generativer KI verändern. Auf dieser Grundlage wird ein Framework entwickelt, das beschreibt, welche kognitiven Funktionen an KI ausgelagert werden, welche primär menschlich bleiben und welche neuen Formen der Koordination und Meta-Reflexion erfordern. Die vorliegende experimentelle Studie prüft zentrale Annahmen dieses Frameworks, indem sie kritisches Denken in KI-gestützten und nicht KI-gestützten Teams auf Prozessebene vergleicht. Eine dritte Studie untersucht mithilfe von Fragebogendaten die Übertragbarkeit der Befunde auf organisationale Kontexte.

6. Literatur

Anderson BR, Shah JH, Kreminski M (2024) Homogenization Effects of Large Language Models on Human Creative Ideation. In: Proceedings of the 16th ACM Conference on Creativity and Cognition (C&C '24), Chicago IL USA: ACM, 413–425. https://doi.org/10.1145/3635636.3656204

Bloom BS, Engelhart MD, Furst EJ, Hill WH, Krathwohl DR (1956) Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. London: Longmans, Green & Company

Dăniloaia D-F, Turturean E (2024) Knowledge workers and the rise of artificial intelligence: Navigating new challenges. SEA: Practical Application of Science 12(35):111–122

Dell'Acqua F, Dell'Acqua M, Lakhani KR, Lakhani T, Mollick E, Narayanan S, Scotto Di Marco G (2025) The Cybernetic Teammate: A field experiment on generative AI reshaping teamwork and expertise. NBER Working Paper 33641. Cambridge MA: National Bureau of Economic Research. https://doi.org/10.3386/w33641

Drosos I, Bernstein MS, Dow S, Hancock J, Kizilcec R, Valentine M (2025) "It makes you think": Provocations help restore critical thinking to AI-assisted knowledge work. arXiv preprint. https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.17247

Dwyer CP, Hogan MJ, Stewart I (2014) An integrated critical thinking framework for the 21st century. Thinking skills and creativity 12:43–52. https://doi.org/10.1016/j.tsc.2013.12.004

Hinsz VB, Tindale RS, Vollrath DA (1997) The emerging conceptualization of groups as information processors. Psychological Bulletin 121(1):43–64. https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.43

Krügel S, Ammeling J, Aubreville M, Uhl M, Fritz A, Kießig A (2025) Perceived responsibility in AI-supported medicine. AI & Society 40(3):1485–1495. https://doi.org/10.1007/s00146-024-01972-6

Lai E (2011) Critical thinking: A literature review. ETS Research Report. Princeton NJ: Educational Testing Service

Lee HP (Hank), Sarkar A, Tankelevitch L, Drosos I, Rintel S, Banks R, Wilson N (2025) The impact of generative AI on critical thinking: Self-reported reductions in cognitive effort and confidence effects from a survey of knowledge workers. In: Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '25), Yokohama Japan: ACM, 1–22. https://doi.org/10.1145/3706598.3713778

Logg JM, Minson JA, Moore DA (2019) Algorithm appreciation: People prefer algorithmic to human judgment. Organizational Behavior and Human Decision Processes 151:90–103. https://doi.org/10.1016/j.obhdp.2018.12.005

Schön DA (1983) The Reflective Practitioner: How professionals think in action. New York: Basic Books

Tian J, Zhang R (2025) Learners' AI dependence and critical thinking: The psychological mechanism of fatigue and the social buffering role of AI literacy. Acta Psychologica 260:105725. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2025.105725

Förderung sinnvoller Arbeit in Unternehmen

Judith SCHÖNER

Lehrstuhl für Betriebspädagogik, Institut I: Bildung, Beruf und Medien
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Universitätsplatz 2, D-39106 Magdeburg

Kurzfassung: Der Beitrag stellt das geplante Vorgehen einer Dissertation vor, um es in der DoktorandInnen-Werkstatt zu diskutieren. Die Dissertation erfolgt im Rahmen des Forschungsprojektes SENSILIENZ, in welchem Resilienz in kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) u.a. mithilfe von Sinnstiftungsprozessen im Lauf von drei Jahren gefördert wird. Die Dissertation fokussiert auf die Förderung sinnvoller Arbeit in den im Projekt beteiligten Unternehmen und soll die Gestaltung von Maßnahmen zur Sinnförderung untersuchen, in den Unternehmen durchgeführte Maßnahmen zur Sinnförderung evaluieren und den Zweck, zu dem Sinnförderung in den Unternehmen betrieben wird, beleuchten.

Schlüsselwörter: Sinnvolle Arbeit, Sinn in der Arbeit, Meaningful work, Personalentwicklung, Organisationsentwicklung, Weiterbildung

1. Thematische Ausrichtung der Dissertationsprojekts

Stress und psychische Belastung nehmen in Krisenzeiten weiter zu und Beschäftigte erleben ihre Arbeit als weniger sinnvoll (Hardering 2020). Dabei bietet das Erleben sinnvoller Arbeit große Potenziale für Beschäftigte und Organisationen, wie z.B. größere Arbeitszufriedenheit und geringere Kündigungsabsichten sowie höheres Arbeitsengagement und Commitment (Allan et al. 2019). Sinnvolle Arbeit bezieht sich hierbei in der Tradition der Forschung zu *meaningful work* auf die individuelle und positive Bewertung der Arbeit oder beruflichen Tätigkeiten als bedeutsam und/oder wertvoll, z.B. für Andere oder die Gesellschaft (Bailey et al. 2019, S. 88–92).

Aufgrund der genannten Potenziale wird die Personal- und Organisationsentwicklung als tragend für die Förderung von sinnvoller Arbeit identifiziert und angehalten, evidenzbasierte Interventionen zur Unterstützung des Sinnerlebens zu entwickeln (Bailey et al. 2019). Wie aber kann die Förderung von Sinn in der Arbeit in Unternehmen gelingen? Dem widmet sich das Dissertationsprojekt im Rahmen des BMFTR-Drittmittelprojektes *Sinn als Ressource: Sensemaking-Methoden zur Resilienzsteigerung in Unternehmen (SENSILIENZ)*[31].

[31] Dieses Projekt wird im Rahmen des Programms „Zukunft der Arbeit“ durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) und die Europäische Union über den Europäischen Sozialfonds Plus (ESF Plus) gefördert (Förderkennzeichen 02L24C120, Laufzeit 01/2026 bis 12/2028) und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin.

2. Drittmittelprojekt SENSILIENZ

2.1 Projektbeschreibung

Motivation

Viele kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) stehen z.B. vor der Einführung neuer Arbeitsformen oder der Übergabe der Geschäftsführung. Hierbei bieten ihre familiäre Unternehmenskultur und strategische Flexibilität oft informelle Ressourcen, die bisher wenig systematisch erforscht und in der Unternehmenspraxis entwickelt wurden. Methoden der Sinnstiftung (Sensemaking) bieten das Potenzial, Unternehmenskultur sichtbar zu machen, so dass Veränderungen gezielt angestoßen werden können. Daher adressiert das Forschungsprojekt SENSILIENZ Unternehmenskultur als Quelle für organisationale Resilienz.

Ziele und Vorgehen

SENSILIENZ adaptiert Methoden des Storytellings und Sensemakings zur Resilienzförderung von Mitarbeitenden, Teams und Organisationen. Ziel ist die Etablierung eines theoretisch und empirisch fundierten Maßnahmenkatalogs, der branchenunabhängig anwendbar ist. Dazu werden Resilienz-Ressourcen in KMU identifiziert und prototypisch in vier Branchen (Pflege, Medizintechnik, IT, Maschinenbau) mobilisiert, indem die adaptierten Methoden für vier Anwendungsszenarien je Unternehmen durchgeführt werden. Begleitend erfolgt die Potenzialanalyse technischer Assistenzen, wie z.B. KI-basierte Moderation. Die Methoden zu Sensemaking und Resilienz werden iterativ evaluiert und abschließend in den Unternehmen verstetigt. Die Aufbereitung in einem modularen und multimedialen Ansatz (Trainings, eLearnings, Leitfäden etc.) ermöglicht den Transfer in weitere KMU.

2.2 Arbeitsplan

Um im Abschnitt 3 die Verknüpfung von Dissertation und Forschungsprojekt darlegen zu können, erfolgt hier zunächst die Darstellung des Arbeitsplans des Projektes. Dafür werden erst die Arbeitspakete knapp beschrieben und dann in ihrer zeitlichen Reihenfolge abgebildet (Tabelle 1).

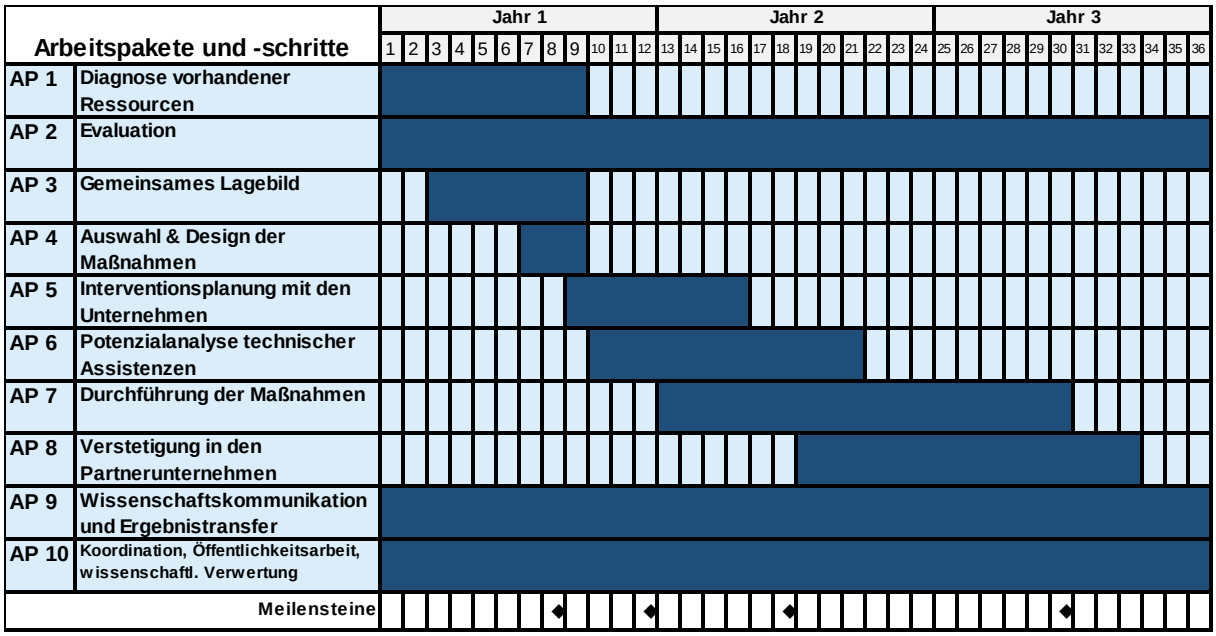
Beschreibung des Arbeitsplans (AP = Arbeitspaket, M = Monate)

- **AP 1: Diagnose vorhandener Ressourcen** (M1-9)
  Erfassung vorhandener Resilienz-Ressourcen durch mehrtägige Forschungsaufenthalte in den Unternehmen.
- **AP 2: Evaluation** (M1-36)
  Inventarerhebung zu 3 Messzeitpunkten (Resilienz, Team-Reflexivität, Führung, Organisationskultur), formative Evaluation der Einzelmaßnahmen und Gesamtprozesse in den Unternehmen, abschließende Auswertung quantitativer & qualitativer Daten.
- **AP 3: Gemeinsamer Lageplan** (M3-9)
  Auswertung der Daten aus AP 1, zielgruppengerechte Aufbereitung der Ergebnisse (Resilienzprofile der Unternehmen), Ergebniskommunikation in den Unternehmen
- **AP 4: Auswahl & Design der Maßnahmen** (M7-9)
  Zusammenstellung & Anpassung von Maßnahmen (aus Resilienzförderung,

Sinnstiftung/Sensemaking, Storytelling/Narrative Team- & Organisations-entwicklung, Wissenstransfer, biografiesensible Personalarbeit, Unternehmenskultur) für die 3 Ebenen Individuum, Team, Organisation

- **AP 5: Interventionsplanung mit den Unternehmen** (M9-16)
  Konkretisierung von 4 Anwendungsszenarien je Unternehmen, Auswahl passender Maßnahmen, Terminierung und Vorbereitung der Durchführung, Initiierung unternehmensübergreifende Zusammenarbeit
- **AP 6: Potenzialanalyse technischer Assistenzen** (M10-21)
  Prototypische Entwicklung eines Dialogsystems zur KI-unterstützen Erstellung von Ressourcenprofilen, KI-unterstützten Empfehlung von Maßnahmen, Ergänzung von Maßnahmen um KI-Funktionalitäten
- **AP 7: Durchführung der Maßnahmen** (M13-30) entspr. AP 5
- **AP 8: Verstetigung in den Partnerunternehmen** (M19-33)
  Erfolgsgeschichten als Basis für Verstetigungsaktivitäten, Ergänzung der Maßnahmen (Workshop-Konzepte, Materialien, techn. Hilfsmittel)
- **AP 9: Wissenschaftskommunikation und Ergebnistransfer** (M1-36)
  Wissenschaftskommunikation (z.B. visuelle Medien, interaktive Formate), Transfer in weitere KMU über Transferpartner (z.B. Kammern, Beratungsunternehmen)
- **AP 10: Koordination, Öffentlichkeitsarbeit, wissenschaftliche Verwertung** (M1-36)

Tabelle 1: *Zeitplanung für das Projekt SENSILIENZ.*



3. Verknüpfung von Dissertation und Forschungsprojekt

Folgende übergeordnete Forschungsfrage soll mit dem Dissertationsprojekt bearbeitet werden: *Wie kann sinnvolle Arbeit in Unternehmen gefördert werden?*

Unterfragen sollen die übergeordnete Forschungsfrage aufschlüsseln; ihre Bearbeitung soll letztlich eine differenzierte Beantwortung der übergeordneten

Forschungsfrage ermöglichen. Nachfolgende Tabelle benennt Unterfragen und ordnet ihnen Recherchethemen sowie mögliche Datenmaterialien zu.

Tabelle 2: *Forschungsfragen sowie zugehörige Recherchethemen und Datenmaterialien.*

Forschungsfragen	Recherchethemen	Datenmaterialien
1. Wie sind Maßnahmen zu gestalten, die sinnvolle Arbeit in den im Projekt beteiligten Unternehmen fördern?	- Sinnförderung - Förderung ähnlicher Aspekte in Unternehmen - Wissenschaftliche Literatur - In der (Beratungs-) Praxis bewährte Methoden	- Lagebilder der vier Unternehmen (AP1, 3) - KI-unterstützte Erstellung von Ressourcenprofilen (AP6) - Daten zu den Gestaltungs-entscheidungen im Rahmen von AP 4 und AP 5
2. Wie tragen Maßnahmen zur Förderung von sinnvoller Arbeit in Unternehmen bei?		- Evaluation der im Projekt erprobten Methoden zur Sinnförderung (AP2)
3. Wofür (zu welchem Zweck) soll/ wird sinnvolle Arbeit in den Unternehmen gefördert?	- Normative Definition sinnvoller Arbeit - Zwei Grundsatzkriterien (Effektivität wirtschaftlichen Erfolgs- und Gewinnstrebens, Selbstbestimmung und Humanität) nach Geißler (2006, S. 210-212) - …?	- Setzen von Schwerpunkten für das Projekt (AP1) - Setzen von Resilienz-Zielen (AP3) - Konkretisierung von Anwendungsszenarien (AP5) - Vision und Strategie für Verstetigung (AP8)

Bezüglich der ersten Forschungsfragen ist eine Studie anvisiert, die sich am Design Based Research orientiert. Die zweite Forschungsfrage wird mithilfe einer Evaluations-studie beleuchtet. Für die dritte Forschungsfrage ist zum jetzigen Zeitpunkt z. B. eine Auswertung der in der Tabelle genannten Daten mithilfe der Dokumentarischen Methode denkbar. Alle methodischen Ansätze werden im Rahmen der DoktorandInnen-Werkstatt ausführlicher dargelegt.

4. Literatur

Allan BA, Batz-Barbarich C, Sterling HM & Tay L (2019). Outcomes of Meaningful Work: A Meta-Analysis. Journal of Management Studies 56(3):500–528. https://doi.org/10.1111/joms.12406

Bailey C, Yeoman R, Madden A, Thompson M & Kerridge G (2019). A Review of the Empirical Literature on Meaningful Work: Progress and Research Agenda. Human Resource Development Review 18(1):83–113. https://doi.org/10.1177/1534484318804653

Geißler H (2006) Integration von Personal- und Organisationsentwicklung in der beruflichen Bildung. In Arnold R (Hrsg.), Handbuch der Berufsbildung (2., überarb. und aktualisierte Aufl.). VS Verl. für Sozialwiss., 204-224.

Hardering F (2020). Sinn in der Arbeit: Überblick über Grundbegriffe und aktuelle Debatten (1st ed. 2020). Springer eBook Collection. Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-30816-2

Der Einfluss arbeitsbezogener Rahmenbedingungen auf kognitive Verarbeitungsmodi in kreativen Problembearbeitungsprozessen: Eine experimentelle Eye-Tracking-Studie

Kirsten HOLLSTEIN, Oliver STRÄTER
Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel
Heinrich-Plett-Str. 40, D-34132 Kassel

Kurzfassung: Kreativität gilt als zentrale Voraussetzung für Innovationsprozesse im beruflichen Kontext. Ihre prozessualen Mechanismen sind jedoch bislang unzureichend empirisch untersucht. Die geplante Forschungsarbeit untersucht mithilfe eines experimentellen, multimethodischen Ansatzes unter Einsatz von Eye Tracking, wie arbeitsbezogene Bedingungen (Zeitdruck, Fehlertoleranz) und Aufgabenarten (offen, geschlossen) die Dynamik kognitiver Verarbeitungsmodi bei der Lösung kreativer Problemstellungen beeinflussen. Die Ergebnisse sollen eine konzeptionelle Grundlage für die Entwicklung eines organisationsdiagnostischen Messinstruments zur Unterstützung evidenzbasierten Innovationsmanagements schaffen.

Schlüsselwörter: Kreative Problembearbeitungsprozesse, kognitive Verarbeitungsmodi, Zeitdruck, Fehlertoleranz, Aufgabenoffenheit, Eye Tracking

1. Einleitung/ Theorien

Kreativität gilt im beruflichen Kontext als zentrale Ressource organisationaler Innovationsfähigkeit und als Treiber zukunftsfähigen Wirtschaftens (Florida 2002). Vor dem Hintergrund aktueller Diskussionen zur menschengerechten Arbeitsgestaltung rückt zunehmend die Frage in den Fokus, unter welchen Bedingungen kreative und innovative Arbeitsprozesse sowohl ergonomisch als auch ökonomisch nachhaltig gestaltet werden können.

Kreativität bezeichnet dabei die Fähigkeit, neuartige und zugleich nützliche Ideen hervorzubringen, während Innovation deren praktische Umsetzung im organisationalen Kontext umfasst (Anderson et al. 2014). In der Kreativitätsforschung besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass Kreativität als multidimensionales Phänomen zu verstehen ist, dass aus dem Zusammenspiel individueller Voraussetzungen, kognitiver Prozesse und kontextueller Einflussfaktoren hervorgeht (Amabile 1988; Sternberg & Lubart 1999). Etablierte Modelle wie die *4p der Kreativität* (Rhodes 1961), die *Komponententheorie* von Amabile (1996) oder *interaktionistische Ansätze organisationaler Kreativität* (Woodman et al. 1993) liefern hierfür ein solides theoretisches Fundament, bleiben jedoch hinsichtlich der prozessualen Ausgestaltung kreativer Verarbeitung vergleichsweise abstrakt. Eine stärkere prozessuale Akzentuierung bietet das *Prozessmodell* nach Schuler und Görlich (2007), das kreative Arbeit als dynamischen Problembearbeitungsprozess konzeptualisiert und dabei an das klassische *Phasenmodell kreativen Problemlösens* nach Wallas (1926) anschließt. Diese Ansätze verdeutlichen, dass kreative Leistung nicht allein durch stabile individuelle Merkmale erklärbar ist, sondern maßgeblich durch kognitive Prozesse geprägt wird, die in Abhängigkeit situativer Bedingungen variieren.

Als zentrale Analyseeinheit rücken dabei kognitive Verarbeitungsmodi in den Fokus, die situativ dominante Muster der Informationsverarbeitung während kreativer Aufgabenbearbeitung beschreiben und unter anderem in divergente, konvergente und regulative Modi differenziert werden können (Amabile & Pratt 2016; Baas et al. 2008; Guilford 1950). Theoretisch anschlussfähig ist hierbei die *Matched Filter Hypothesis*, nach der kognitive Kontroll- und Aufmerksamkeitsprozesse in Abhängigkeit von Aufgabenanforderungen adaptiv moduliert werden (Chrysikou et al. 2014), was eine prozessnahe Untersuchung aufgabenabhängiger Verarbeitungsdynamiken nahelegt.

Trotz dieser theoretischen Fundierung sind die kognitiven Prozesse kreativer Problembearbeitung bislang nur unzureichend empirisch erschlossen. Insbesondere fehlen prozessnahe, Ebenen übergreifende Studien, die den Einfluss arbeitsbezogener Rahmenbedingungen auf die Dynamik kognitiver Verarbeitung während kreativer Tätigkeiten systematisch erfassen.

Vor diesem Hintergrund ist das Forschungsvorhaben strukturell in einen empirischen Forschungs- und einen darauf aufbauenden Entwicklungsteil gegliedert: Zunächst soll im Rahmen einer experimentellen, multimethodischen Untersuchung analysiert werden, wie Zeitdruck und Fehlertoleranz sowie die Aufgabenart die Aktivierung und Dynamik kognitiver Verarbeitungsmodi in zentralen Phasen kreativer Problembearbeitung beeinflussen. Aufbauend auf den empirischen Befunden ist in einem zweiten Schritt die Entwicklung eines psychometrischen Messinstruments vorgesehen, das organisationsdiagnostische Grundlagen für eine menschengerechte Organisationsentwicklung sowie ein nachhaltiges Innovationsmanagement bereitstellt. Der vorliegende Beitrag fokussiert auf den empirischen Forschungsschritt und stellt das experimentelle Design sowie dessen methodische Umsetzung in den Mittelpunkt.

2. Geplantes Forschungsdesign und Methoden

2.1 Experimentelles Mixed Design

Die Studie folgt einem experimentellen 2 × 2 × 2 Mixed Design zur Untersuchung kausaler Zusammenhänge zwischen arbeitsbezogenen Rahmenbedingungen, der Dynamik kognitiver Verarbeitungsmodi und kreativen Problembearbeitungs-ergebnissen. Als Kontrollvariablen werden kreative Selbstwirksamkeit und Stimmung berücksichtigt, um interindividuelle Unterschiede statistisch zu kontrollieren. Durch die Randomisierung der Teilnehmenden zu den experimentellen Bedingungen wird die interne Validität erhöht und eine klare Zuordnung beobachteter Effekte zu den experimentellen Manipulationen ermöglicht.

Die Zuteilung der Faktoren folgt sowohl methodischen als auch inhaltlichen Überlegungen. Zeitdruck und Fehlertoleranz (jeweilige Faktorstufen „hoch“ und „niedrig“) werden als *Between-Subject-Faktoren* variiert, da sie vergleichsweise stabile Arbeitsbedingungen abbilden und intraindividuelle Wechsel mit Carry-over- oder Kontrasteffekten verbunden wären. Die Aufgabenart („offen“ und „geschlossen“) wird als *Within-Subject-Faktor* umgesetzt, um intraindividuelle Unterschiede in kognitiven Verarbeitungsmodi unter variierenden Aufgabenanforderungen kontrolliert vergleichen zu können. Dies erhöht zugleich die statistische Teststärke, da jede Person als eigene Kontrollbedingung fungiert und bei gleichbleibender Sensitivität ein geringerer Stichprobenumfang erforderlich ist. Die Aufgabenreihenfolge wird systematisch gegenbalanciert, sodass jede Aufgabenart gleich häufig in erster und zweiter Position auftritt. Tabelle 1 gibt einen Überblick über das beschriebene Studiendesign.

Tabelle 1: *Experimentelles 2 × 2 × 2 Mixed Design mit Aufgabenart (Within-Subject), Zeitdruck und Fehlertoleranz (Between-Subject), Verarbeitungsmaßen und kreativen Ergebnissen (AV) sowie kreativer Selbstwirksamkeit und Stimmung (KV).*

KV	**UV 1 Aufgabenart (within)**	**UV 2 Zeitdruck (between)**	**UV 3 Fehlertoleranz (between)**	**AV**
• Kreative Selbstwirksamkeit • Stimmung	offen	hoch/ niedrig	hoch/ niedrig	• Verarbeitungsmodus (divergent, konvergent) • Verarbeitungsdynamik (regulativ) • Kreative Ergebnisse (quantitativ, qualitativ)
	geschlossen			

2.2 Aufgabenmaterial

Zur Operationalisierung kreativer Problembearbeitung werden zwei komplementäre Aufgabentypen eingesetzt. Offene Aufgaben zielen auf die Generierung neuartiger Lösungsansätze ohne eindeutig vorgegebene Lösung. Der Output wird hierbei sowohl quantitativ (Anzahl generierter Ideen) als auch qualitativ erfasst (Originalität und Umsetzbarkeit). Geschlossene Aufgaben erfordern hingegen die Auswahl oder Optimierung von Lösungen unter klar definierten Kriterien und werden primär anhand von Genauigkeit und Begründungsqualität beurteilt. Die konkrete inhaltliche Ausgestaltung der Aufgaben orientiert sich an dem jeweiligen Rekrutierungskontext. So würde eine potenzielle Kooperation aus dem Transformationsnetzwerk der Universität Kassel mit einem spezifischen Unternehmen beispielsweise die Entwicklung einer branchenspezifischen Aufgabenstellung ermöglichen. Das eingesetzte Bearbeitungsmedium (digital vs. analog) wird im weiteren Verlauf der Studie entsprechend spezifiziert.

Die Bewertung der Aufgabenleistungen erfolgt primär über *expertenbasierte Ratings*. Ergänzend wird geprüft, inwiefern ein KI-basiertes *Scoring-Verfahren* zur standardisierten Bewertung sowohl offener als auch geschlossener Aufgaben geeignet ist. Sofern ein solches Verfahren eingesetzt wird, erfolgt eine Kalibrierung und Überprüfung der Übereinstimmung mit den Expertenbewertungen. Die Prüfung automatisierter Bewertungsverfahren trägt dem Umstand Rechnung, dass eine zeitökonomische und skalierbare Auswertung von Aufgabenleistungen insbesondere für künftige organisationale Anwendungskontexte von hoher Relevanz ist.

2.3 Erhebungsinstrumente

Zur Untersuchung der kognitiven Verarbeitungsdynamik und relevanter individueller Ausgangsbedingungen werden prozessnahe *Verhaltensmaße* sowie *standardisierte Selbsteinschätzungen* kombiniert.

Die kognitiven Verarbeitungsmodi werden mithilfe einer mobilen *Blickerfassungs-brille* (Eye Tracking) unter konstanten Umgebungsbedingungen untersucht. Analysiert werden Parameter der visuellen Exploration und Aufmerksamkeitssteuerung, darunter Suchbreite und -geschwindigkeit, Wechsel zwischen definierten „Areas of Interest“ (AOIs) sowie Fixationsverteilung und -dauer. Diese Indikatoren werden zu einem Modus-Index aggregiert, der die relative Dominanz explorativer vs. fokussiert-analytischer Verarbeitungsweisen abbildet.

Ergänzend werden psychometrische Testverfahren zur Erfassung individueller Ausgangsbedingungen herangezogen. Dabei werden *kreative Selbstwirksamkeit* sowie die aktuelle *Stimmungslage* als Kontrollvariablen berücksichtigt, da ihnen im

Forschungsfeld eine zentrale Bedeutung zugeschrieben wird (Baas et al. 2008; Tierney & Farmer 2011). Kreative Selbstwirksamkeit wird über eine Kurzskala zur kreativen Selbstwirksamkeit erhoben (Karwowski & Lebuda 2018). Die aktuelle Stimmungslage wird mittels einer sechs-Item-Kurzskala erfasst (Wilhelm & Schoebi 2007). Die Berücksichtigung dieser Variablen ermöglicht es, die Effekte der experimentellen Manipulationen auf die kognitiven Verarbeitungsprozesse präziser zu isolieren.

3. Analyse und erwartbare Ergebnisse

Zur Untersuchung der Effekte arbeitsbezogener Rahmenbedingungen und Aufgabenanforderungen auf die Dynamik kognitiver Verarbeitungsmodi werden die erhobenen Daten mithilfe linearer *Mixed-Effects-Modelle* analysiert. Dieses Vorgehen ermöglicht die gleichzeitige Modellierung von Between-Subject-Faktoren (Zeitdruck, Fehlertoleranz) und Within-Subject-Variationen (Aufgabenart) sowie die Berücksichtigung wiederholter Messungen innerhalb von Personen. Versuchspersonen werden als Zufallsfaktor in die Modelle aufgenommen, um interindividuelle Unterschiede zu kontrollieren und die Effekte der experimentellen Manipulationen präzise zu schätzen.

Im Zentrum der Analysen stehen die Haupteffekte der Aufgabenart sowie der arbeitsbezogenen Rahmenbedingungen auf die Aktivierung und Dynamik kognitiver Verarbeitungsmodi. Ergänzend werden Interaktionseffekte zwischen Aufgabenart, Zeitdruck und Fehlertoleranz geprüft, um aufgabenabhängige Modulationen der kognitiven Verarbeitung unter unterschiedlichen situativen Bedingungen abzubilden. Darüber hinaus werden Zusammenhänge zwischen den identifizierten Verarbeitungsmodi und Indikatoren kreativer Leistung analysiert.

Auf Basis der theoretischen Modelle kreativer Problembearbeitung sowie der Matched Filter Hypothesis werden dabei differenzielle Befundmuster erwartet. Es ist anzunehmen, dass die Aufgabenart einen zentralen Einfluss auf die dominierenden kognitiven Verarbeitungsmodi ausübt. Offene Aufgaben dürften mit einer stärkeren Aktivierung explorativer, divergenter Verarbeitungsmodi einhergehen, die sich in einer breiteren visuellen Exploration, häufigeren Wechseln zwischen relevanten Informationsbereichen sowie variableren Fixationsmustern widerspiegeln. Geschlossene Aufgaben sollten demgegenüber stärker fokussierte, konvergente Verarbeitungsweisen begünstigen, die durch eine zielgerichtete Aufmerksamkeitssteuerung, geringere Suchbreite und längere Fixationsdauern gekennzeichnet sind.

Darüber hinaus werden Haupteffekte der arbeitsbezogenen Rahmenbedingungen erwartet. Hoher Zeitdruck dürfte mit einer verstärkten Aktivierung fokussiert-analytischer Verarbeitungsmodi assoziiert sein, da zeitliche Restriktionen eine stärkere kognitive Kontrolle und eine Reduktion explorativer Suchprozesse nahelegen. Bedingungen geringer Zeitrestriktion sollten hingegen explorativere Verarbeitungsweisen begünstigen. Analog wird angenommen, dass eine hohe Fehlertoleranz mit einer stärkeren Dominanz explorativer Verarbeitungsmodi einhergeht, während niedrige Fehlertoleranz eher konvergente und stärker regulierte Verarbeitungsweisen fördert.

Von besonderem Interesse sind Interaktionseffekte zwischen Aufgabenart und arbeitsbezogenen Rahmenbedingungen. Es wird erwartet, dass offene Aufgaben insbesondere unter Bedingungen geringer Zeitrestriktion und hoher Fehlertoleranz mit ausgeprägten explorativen Verarbeitungsmustern einhergehen. Unter restriktiven Rahmenbedingungen könnte es hingegen zu einer Diskrepanz zwischen den

Anforderungen offener Aufgaben und den aktivierten Verarbeitungsmodi kommen, die sich in instabileren oder stärker fluktuierenden Verarbeitungsdynamiken äußert. Geschlossene Aufgaben dürften im Vergleich dazu weniger sensitiv gegenüber Variationen der Rahmenbedingungen reagieren, da ihre strukturierte Aufgabenlogik bereits eine fokussierte Verarbeitung nahelegt.

Schließlich wird angenommen, dass die identifizierten kognitiven Verarbeitungsmodi systematisch sowohl mit der Qualität als auch mit der Quantität kreativer Leistungen zusammenhängen. Explorative Verarbeitungsmodi sollten insbesondere bei offenen Aufgaben mit höherer Ideenvielfalt und Originalität assoziiert sein, während fokussiert-analytische Modi bei geschlossenen Aufgaben mit höherer Lösungsgenauigkeit und Begründungsqualität einhergehen dürften. In diesem Zusammenhang wird explorativ geprüft, inwieweit kognitive Verarbeitungsmodi als potenzielle vermittelnde Mechanismen im Zusammenhang zwischen arbeitsbezogenen Rahmenbedingungen und kreativem Output fungieren.

4. Diskussion

Die gewählte experimentelle und multimethodale Untersuchung regt eine weiterführende methodische Diskussion darüber an, welche alternativen oder ergänzenden Zugänge zur Untersuchung kreativer Problembearbeitungsprozesse geeignet sind. Feldnahe oder hybride Designs, aufgabenbasierte Simulationen sowie standardisierte Fallszenarien könnten perspektivisch dazu beitragen, prozessuale Befunde stärker an reale Arbeitskontexte anzubinden, sind aber aufwändig, umfassend und verlieren dadurch schnell an wissenschaftlicher Präzision und somit an empirischer Aussagekraft. Mit Blick auf die angestrebte Instrumentenentwicklung stellt sich die Frage, wie kontextspezifische Präzision und übergreifende Anwendbarkeit bereits in der empirischen Untersuchung sinnvoll miteinander zu verbinden sind.

Vor diesem Hintergrund gilt es auch die vorliegende empirische Untersuchung kritisch zu reflektieren. Die experimentelle Operationalisierung arbeitsbezogener Rahmenbedingungen erlaubt eine kontrollierte Analyse kognitiver Verarbeitungsdynamiken, steht jedoch einer insgesamt uneinheitlichen empirischen Befundlage gegenüber. So weisen einige Studien beispielsweise auf widersprüchliche Effekte individueller Stimmung auf Kreativität sowie auf nichtlineare Zusammenhänge zwischen Zeitdruck und kreativer Leistung hin (Anderson et al. 2014; Sarooghi et al. 2015). Dies wirft die Frage auf, inwieweit die gewählten Faktorstufen diese komplexen Zusammenhänge adäquat abbilden oder ob alternative Operationalisierungen (etwa feinere Abstufungen oder adaptive Designs) zur weiteren Präzisierung beitragen könnten.

5. Literatur

Amabile TM (1988). A model of creativity and innovation in organisations. In B. M. Staw & L. L. Cummings (Hrsg.), Research in Organizational Behavior 10 (S. 123-167). Greenwich CT: JAI Press.

Amabile TM (1996). Creativity in context: Update to „The social Psychology of Creativity“. Boulder, CO: Westview Press.

Amabile TM, Pratt MG (2016). The dynamic componential model of creativity and innovation in organizations: making progress, making meaning. Research in Organizational Behavior, 36, 157–183.

Anderson NR, Potočnik K, Zhou J (2014). Innovation and creativity in organizations: A state-of-the-science review, prospective commentary, and guiding framework. Journal of Management, 40, 1297–1333. https://doi.org/10.1177/0149206314527128

Baas M, De Dreu CKW, Nijstad BA (2008). A meta-analysis of 25 years of mood-creativity research: Hedonic tone, activation, or regulatory focus? Psychological Bulletin, 134, 779–806. https://doi.org/10.1037/a0012815

Chrysikou EG, Weber MJ, Thompson-Schill SL (2014). A matched filter hypothesis for cognitive control. Neuropsychologia, 62, 341–355. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.10.021

Florida R (2002). The rise of the creative class … and how it's transforming work, leisure, community, and everyday life. New York: Basic Books.

Guilford JP (1950). Creativity. American Psychologist, 5(9), 444–454. https://doi.org/10.1037/h0063487

Karwowski M, Lebuda I (2018). Measuring creative self-efficacy and creative personal identity. International Journal of Creativity and Problem Solving, 28(1), 45–57.

Rhodes M (1961). An analysis of creativity. Phi Delta Kappa, 42, 305-310.

Sarooghi H, Libaers D, Burkemper AC (2015). Examining the relationship between creativity and innovation: A meta-analysis of organizational, cultural, and environmental factors. Journal of Business Venturing, 30(5), 714–731.

Schuler H, Görlich Y (2007). Kreativität. Ursachen, Messung, Förderung und Umsetzung in Innovation. Göttingen: Hogrefe.

Sternberg RJ, Lubart TI (1999). The concept of creativity: Prospects and paradigms. In: Sternberg RJ (Hrsg.), Handbook of creativity (S. 3-15). New York: Cambridge University Press.

Tierney P, Farmer SM (2011). Creative self-efficacy development and creative performance over time. Journal of Applied Psychology, 96(2), 277–293. https://doi.org/10.1037/a0020952

Wallas G (1926). The art of thought. London: Jonathan Cape.

Wilhelm P, Schoebi D (2007). Assessing mood in daily life: Structural validity, sensitivity to change, and reliability of a short-scale to measure three basic dimensions of mood. European Journal of Psychological Assessment, 23(4), 258–267. https://doi.org/10.1027/1015-5759.23.4.258

Woodman RW, Sawyer JE, Griffin RW (1993). Toward a theory of organizational creativity. Academy of Management Review, 18, 293-321.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Multimodal human-robot interaction in non-surgical healthcare environments

Sarah FEIGL

Lehrstuhl für Ergonomie, Technische Universität München
Boltzmannstraße 15, D-85748 Garching b. München

Abstract: Due to the aging population, especially in developed countries, there will be an increasing demand for access to high quality healthcare. This represents the societal driver for implementing and improving robotic technologies to relieve healthcare workers. Especially in this environment, with vulnerable person groups involved, communication between the respective human-robot interaction partners is indispensable. There is extensive research regarding robotics in healthcare in general as well as regarding communication and perception modalities in the interaction with robots. However, there is a gap in research concerning specific communication and perception requirements in the interaction with healthcare robotics. This Exposé covers the state of science and technology regarding robots in healthcare as well as human-robot communication. Research questions and methods for a dissertation, that will cover parts of the research gap mentioned before, are presented.

Keywords: Human-robot interaction, Robotics, Communication, Healthcare, Usability

1. State of Science and Technology

This chapter covers the state of science and technology for the proposed dissertation topic. An overview on robots in healthcare is given before a summary regarding human-robot communication (HRC) and its modalities is presented.

1.1 Robots in Healthcare

Robots in healthcare can be divided into categories according to the working environment and specific tasks they are supposed to carry out. Those categories include but are not limited to surgical, rehabilitation, telepresence, pharmacy, socially assistive, interventional, disinfection, radiotherapy and delivery and transport (Morgan et al. 2022). The potential of healthcare robots lies in their constant availability, efficiency and a reduced likelihood of slips and lapses compared to human caregivers (Wan et al. 2020). Societal drivers of robotics in healthcare are the increasing demand in access to healthcare as well as a need to reduce workload and stress of caregivers (Okamura et al. 2010; Khan & Anwar 2020).

One main challenge in the field of healthcare robotics is the working environment including vulnerable individuals that are physically or mentally impaired with unique needs and restrictions. Safety is therefore a major concern in this environment (Khan & Anwar 2020). Settings like hospitals or private households represent a much less controlled and more chaotic environment than a factory production line, which leads to additional challenges in the deployment of robotics in this domain (Maibaum et al.

2022). Further concerns regarding liability issues in case of malfunctioning and data privacy of patients were identified in the past (Kyrarini et al. 2021).

Additionally, healthcare working environments place high demands on the communication capabilities of all participants. Munyisia et al. (2011) observed, that nursing staff spend about 40% of their time in a nursing home on communication. This time only includes explicit, verbal communication. When time spent on direct care, where non-verbal communication can be assumed to occur continuously and in addition to verbal communication, is also included, significantly more than 50% of the working time of nurses is dominated by communication (Munyisia et al. 2011).

In a summary by Okamura et al. (2010) regarding desired system capabilities for medical robotics, the first three of the ten capabilities listed are directly related to HRC:

1. Intuitive Physical Human-Robot Interaction and Interfaces
2. Automated Understanding of Human Behavior
3. Automated Understanding of Emotional and Psychological State

This highlights the importance of designing intuitive communication methods for robots in healthcare.

1.2 Human-Robot Communication (HRC)

When thinking about communication, often the first thing that comes to mind is explicit, verbal communication (Bartneck et al. 2020, p.81). Human speech is very complex and not only conveys information but also creates a shared reality between interaction partners by communicating with each other (Bartneck et al. 2020, pp.98–99). The meaning of words depends on various factors such as prosody, the relationship between interaction partners and the specific task that is carried out (Kulyukin 2006; Bartneck et al. 2020, p.112). A robot's voice, including its accent, gender and naturalness, strongly influences how humans perceive the robot and judge its capabilities (Becker et al. 2025).

In addition to verbal communication, nonverbal cues during human interaction are essential for the interpretation of others' meanings and intentions (Bartneck et al. 2020, pp.81–84). Study results suggest that nonverbal communication cues significantly improve the quality of human-robot-interaction (Han et al. 2012). Nonverbal communication typically addresses the visual, auditive and haptic channels (Bonarini 2020).

Eye gaze, body posture and facial muscle activity are important visual cues in human communication (Bartneck et al. 2020, p.82). Visual communication cues also include motion and in the case of HRC light signals and images (Bonarini 2020). For logistics robots for example, light signals in the form of blinking indicators are used to signal an imminent turn (Rothmeyer et al. 2024). Gestures as a type of motion cue are widely applicable in a variety of tasks and are often highly intuitive. Several studies have shown that human gestures can be transferred even to simple one-armed robots while still being understandable for a human interaction partner (Ende et al. 2011; Gleeson et al. 2013).

Apart from the already mentioned verbal communication, the auditive channel can be addressed via specific sound signals (Bonarini 2020). Exploring the example of a mobile logistics robot again, sound signals can be used for communicating the state of the robot or as warnings about movements of the robot, like starting to drive after standby, driving backwards or entering a collaborative zone (Rothmeyer et al. 2024). Naturally occurring sounds, like for example sounds of the motors in a robotic arm, also contribute to a communication via the auditive channel (Bonarini 2020).

Haptics includes tactile and kinesthetic perception. Tactile signals are touch-based signals caused by mechanical, thermal, electrical and chemical stimulation of the skin. Kinesthetics describes the perception of movement-based signals caused by physical force, body orientation, limb alignment, and joint position (Schmidtler 2018). In the area of robot assisted surgery, haptic feedback was shown to significantly improve completion time, accuracy and success rate. Types of haptic feedback for surgical robotics include kinesthetic, vibrotactile and cutaneous feedback as well as combinations of those three types (Bergholz et al. 2023). Deliberate touch is also a form of haptic communication that can be explored for HRC (Bartneck et al. 2020, p.89; Bonarini 2020).

If cues from different communication channels do not match, this can impede the quality of the interaction (Bartneck et al. 2020, p.83; Bonarini 2020). The interpretation of cues and therefore also if cues match depends heavily on the context (e.g. cultural or task-specific) (Bartneck et al. 2020, p.83). This is especially true for gestures. One gesture can be associated with several communication terms depending on the task context (Gleeson et al. 2013). One development approach for HRC is to closely mimic natural human interaction by equipping the robot among other things with natural language capabilities. However, modelling robotic communication cues to be human-like does not necessarily improve the quality of the interaction (Saunderson & Nejat 2019). Likewise, natural language interaction is not always the optimum choice for HRI (Kulyukin 2006; Mavridis 2015).

Su et al. (2023) give an overview over the state of research regarding multimodal HRC. They summarize the technological methods for input signal processing on the robotic side of the interaction as well as multimodal methods for a robot to give feedback to a human interaction partner. In a comprehensive survey, Saunderson and Nejat (2019) analyze different categories of nonverbal communication, including multimodality, and their various influences on HRI, i.e. on cognitive framing of the robots, emotion recognition and response, behavioral responses and task performance. Their research revealed that nonverbal behavior of robots results in improved likeability, social engagement, perceived performance, understandability and comfort. From the survey paper it also becomes evident that robotic nonverbal behavior significantly influences task performance (Saunderson & Nejat 2019).

2. Research Question

The central research question for the planned dissertation is the following:

How do different communication modalities influence the user experience of robots in non-surgical healthcare?

Communication modalities in this context can be the verbal and nonverbal communication types that were presented in Chapter 1.2. User experience is defined by EN ISO 9241-210:2019 (ISO, International Organization for Standardization, 2019) as "user's perceptions and responses that result from the use and/or anticipated use of a system, product or service". The term "user experience" therefore not only encompasses subjective constructs like physical comfort or likeability but also more objective concepts like the efficiency of an interaction. According to Ortenzi et al. (2021) HRI can be evaluated by three types of metrics that also reflect the user experience:

- Task performance metrics (e.g. success rate, task completion time)

- Psychophysiological metrics (e.g. HRV, EMG)
- Subjective metrics (e.g. likeability, perceived intelligence)

The focus of this work lies in the specific requirements that arise for the design of HRC in the healthcare domain. A distinct application area, i.e. healthcare, for optimizing HRC is chosen due to the high context dependency of communication, as was already established in the previous chapters. To further restrict the variety of user groups and scenarios, the scope of this dissertation only includes non-surgical robotics. Surgical robotics can clearly be distinguished from other healthcare applications by their user group (surgeons) and operational environment (operating rooms).

3. Methods

To gain further insight into the state of research and technology a systematic literature review will be conducted. An additional goal of the review is to identify research gaps that lead to more specific research questions to be answered in this dissertation.

3.1 Systematic Literature Review

The literature review will follow the Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines (Page et al. 2021). It seeks to answer the following research questions:

1. *Which communication modalities between human and robot are currently exploited in non-surgical healthcare settings and in which use cases?*
2. *How are those communication modalities designed and implemented technologically in non-surgical healthcare?*
3. *What effects of different communication modalities on task performance, psychophysiological and subjective metrics were reported for non-surgical healthcare scenarios?*
4. *What research gaps and future research trends can be identified for multimodal communication between human and robot in non-surgical healthcare?*

Keywords for the search in online databases include the aspects robot, HRI, healthcare (e.g. medical, care), interaction modality (e.g. visual, haptic) and user (e.g. participant, usability). The included papers should describe a user study or co-design process with at least one human participant interacting with an embodied robot. Due to the high number of search results in preliminary screenings, the intended end user group of studied robots is restricted to formal or informal caregivers (e.g. physicians, nurses) as opposed to patients. This choice was made because patient-robot interactions are already included in some published literature reviews (e.g. a review on social robots by Mahdi et al. 2022) and the larger research gap was seen in caregiver-robot interactions. Studies should also describe a quantitative, qualitative or mixed method analysis of the caregiver-robot communication via objective or subjective user-centered metrics. After title, abstract and full-text screenings, all included papers will be tagged regarding aspects like type of robot used, intended end user, interaction modalities and evaluation metrics to aid the subsequent aggregation of information.

3.2. Time plan and further methods

The time plan for the dissertation spans four years. The systematic literature review and research gap identification will dominate the first year. After that, several user studies will be conducted in order to fill some of the identified research gaps. For the evaluation of those user studies, established user centered metrics as categorized by Ortenzi et al. (2021) into task performance, psychophysiological and subjective metrics will be used. Where feasible, the validity, reliability and sensitivity of widely used (as identified by the literature review) metrics will be evaluated critically. The research goal is to advance HRC in the healthcare domain and additionally help future researchers choose appropriate metrics for the analysis of HRI.

4. Literature

Bartneck C, Belpaeme T, Eyssel F, Kanda T, Keijsers M, Šabanović S (2020) Human-Robot Interaction. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108676649

Becker D, Braach L, Clasmeier L, Kaufmann T, Ong O, Ahrens K, Gäde C, Strahl E, Di Fu, Wermter S (2025) Influence of Robots' Voice Naturalness on Trust and Compliance. J. Hum.-Robot Interact. 14:1–25. https://doi.org/10.1145/3706066

Bergholz M, Ferle M, Weber BM (2023) The benefits of haptic feedback in robot assisted surgery and their moderators: a meta-analysis. Sci Rep 13:19215. https://doi.org/10.1038/s41598-023-46641-8

Bonarini A (2020). Communication in Human-Robot Interaction. Curr Robot Rep 1:279–285. https://doi.org/10.1007/s43154-020-00026-1

Ende T, Haddadin S, Parusel S, Wusthoff T, Hassenzahl M, Albu-Schaffer A (2011) A human-centered approach to robot gesture based communication within collaborative working processes. In: 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE, pp. 3367–3374. https://doi.org/10.1109/IROS.2011.6094592

Gleeson B, MacLean K, Haddadi A, Croft E, Alcazar J (2013) Gestures for industry Intuitive human-robot communication from human observation. In: 2013 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI). IEEE, pp. 349–356. https://doi.org/10.1109/HRI.2013.6483609

Han J, Campbell N, Jokinen K, Wilcock G (2012) Investigating the use of Non-verbal Cues in Human-Robot Interaction with a Nao robot. In: 2012 IEEE 3rd International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom). IEEE, pp. 679–683. https://doi.org/10.1109/CogInfoCom.2012.6421937

ISO, International Organization for Standardization (2019) 9241-210:2019. Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design for interactive systems, Berlin

Khan A, Anwar Y (2020) Robots in Healthcare: A Survey. In: Arai K, Kapoor S (eds) Advances in Computer Vision, vol 944. Springer International Publishing, Cham, pp. 280–292. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17798-0_24

Kulyukin VA (2006) On natural language dialogue with assistive robots. In: Goodrich MA, Schultz AC, Bruemmer DJ (eds) Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on Human-robot interaction. ACM, New York, NY, USA, pp. 164–171. https://doi.org/10.1145/1121241.1121270

Kyrarini M, Lygerakis F, Rajavenkatanarayanan A, Sevastopoulos C, Nambiappan HR, Chaitanya KK, Babu AR, Mathew J, Makedon F (2021) A Survey of Robots in Healthcare. Technologies 9:8. https://doi.org/10.3390/technologies9010008

Mahdi H, Akgun SA, Saleh S, Dautenhahn K (2022) A survey on the design and evolution of social robots — Past, present and future. Robotics and Autonomous Systems 156:104193. https://doi.org/10.1016/j.robot.2022.104193

Maibaum A, Bischof A, Hergesell J, Lipp B (2022) A critique of robotics in health care. AI & SOCIETY 37:467–477. https://doi.org/10.1007/s00146-021-01206-z

Mavridis N (2015) A review of verbal and non-verbal human–robot interactive communication. Robotics and Autonomous Systems 63:22–35. https://doi.org/10.1016/j.robot.2014.09.031

Morgan AA, Abdi J, Syed MAQ, Kohen GE, Barlow P, Vizcaychipi MP (2022) Robots in Healthcare: a Scoping Review. Curr Robot Rep 3:271–280. https://doi.org/10.1007/s43154-022-00095-4

Munyisia EN, Yu P, Hailey D (2011) How nursing staff spend their time on activities in a nursing home: an observational study. J Adv Nurs 67:1908–1917. https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2011.05633.x

Okamura A, Mataric M, Christensen H (2010) Medical and Health-Care Robotics. IEEE Robotics & Automation Magazine 17:26–37. https://doi.org/10.1109/MRA.2010.937861

Ortenzi V, Cosgun A, Pardi T, Chan WP, Croft E, Kulic D (2021) Object Handovers: A Review for Robotics. IEEE Transactions on Robotics 37:1855–1873. https://doi.org/10.1109/TRO.2021.3075365

Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, Shamseer L, Tetzlaff JM, Akl EA, Brennan SE, Chou R, Glanville J, Grimshaw JM, Hróbjartsson A, Lalu MM, Li T, Loder EW, Mayo-Wilson E, McDonald S, McGuinness LA, Stewart LA, Thomas J, Tricco AC, Welch VA, Whiting P, Moher D (2021) The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ 372:n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Rothmeyer F, Spitzer F, Herrmann S, Niessen N, Fottner J (2024) Akustische Basissignale für mobile Logistik-Roboter. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 119:728–734. https://doi.org/10.1515/zwf-2024-1133

Saunderson S, Nejat G (2019) How Robots Influence Humans: A Survey of Nonverbal Communication in Social Human–Robot Interaction. Int J of Soc Robotics 11:575–608. https://doi.org/10.1007/s12369-019-00523-0

Schmidtler JA (2018) Optimizing Haptic Human-Robot Collaboration Considering Human Perception and Idiosyncrasies. DissertationTechnische Universität München

Su H, Qi W, Chen J, Yang C, Sandoval J, Laribi MA (2023) Recent advancements in multimodal human-robot interaction. Front Neurorobot 17:1084000. https://doi.org/10.3389/fnbot.2023.1084000

Wan S, Gu Z, Ni Q (2020) Cognitive computing and wireless communications on the edge for healthcare service robots. Computer Communications 149:99–106. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.10.012

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Mehrdimensionales Änderungsmanagement von Virtual Reality-gestützten hybriden Schulungen: Eine Analyse ihrer Wirksamkeit in der Pharmaindustrie

Tim KRANZ

Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel
Heinrich-Plett-Str. 40, D-34132 Kassel

Kurzfassung: Virtual Reality bietet neue Möglichkeiten für betriebliche Qualifizierungsprozesse in sensitiven Arbeitsumgebungen. Das Promotionsvorhaben untersucht im Rahmen des Forschungsprojekts *PharmaXR*, unter welchen organisatorischen, prozessualen und sozialen Bedingungen VR-gestützte Schulungen in der pharmazeutischen Industrie wirksam eingeführt werden können. Die Untersuchung basiert auf qualitativen Interviews, Fokusgruppen und standardisierten Befragungen. Zur Strukturierung und Auswertung wird der Assoziative-Scanning-Ansatz eingesetzt. Ziel ist die Ableitung eines Kriterienkatalogs zur Gestaltung und nachhaltigen Implementierung von VR-basierten Schulungsprozessen.

Schlüsselwörter: Virtuelle Realität, Organisationsentwicklung, Change Management, Pharmaindustrie

1. Einordnung des Promotionsvorhabens und Forschungsziel

Virtual Reality (VR) erweitert betriebliche Qualifizierung, indem Tätigkeiten in realitätsnahen Lernsituationen erprobt werden können (Heinlein et al. 2023). Dadurch entsteht eine Lernform, die stärker auf die Durchführung von Tätigkeiten, Situationsverständnis und Erfahrung ausgerichtet ist als theoretische Schulungsformate und insbesondere detaillierte Arbeitsprozesse nachvollziehbar abbilden kann (Wohlgenannt et al. 2020).

Das Promotionsvorhaben ist im vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) geförderten Forschungsprojekt *PharmaXR* im Fachbereich Arbeits- und Organisationspsychologie an der Universität Kassel verortet. Ziel des Projekts ist die Anwendung einer VR-basierten Schulungsumgebung für Mitarbeitende in der pharmazeutischen Industrie (Kaufmann & Kranz 2025). Die Einführung von VR wird als organisationaler Veränderungsprozess untersucht, der Qualifizierungspraktiken und Organisationsstrukturen einbezieht. Der Anwendungsbereich ist durch regulierte und qualitätskritische Produktionsprozesse der pharmazeutischen Industrie geprägt, in denen fehlerfreie Abläufe und regelkonformes Handeln von besonderer Bedeutung sind.

Die Dissertation untersucht die organisatorischen, prozessualen und sozialen Voraussetzungen für den Einsatz von VR-Schulungen in Unternehmen. Analysiert werden Gestaltungsaspekte des Change Managements, organisationale Rahmenbedingungen sowie die strukturierte Einbindung relevanter Stakeholder. Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines strukturierten Kriterienkatalogs, der Unternehmen als Orientierung dient und darstellt, welche Bedingungen bei der Einführung von VR-basierten Schulungen zu berücksichtigen sind. Die Arbeit setzt auf der Assoziativen-Scanning-Methode auf, welche dazu dient, komplexe Veränderungssituationen

strukturiert zu erfassen, unterschiedliche Sichtweisen zusammenzuführen und Entscheidungsgrundlagen transparent abzubilden (Raabe 2024).

2. Theoretischer Bezugsrahmen und Forschungslücke

VR wird in dieser Arbeit als Lern- und Arbeitsmedium verstanden, das in betriebliche Qualifizierungs- und Arbeitsprozesse eingebettet ist. Eigenschaften von VR liegen in der Möglichkeit, Arbeitsabläufe realitätsnah zu simulieren und Tätigkeiten wiederholt unter kontrollierten Bedingungen einzuüben, wodurch Lernprozesse erfahrungsbasiert gestaltet werden können (Wohlgenannt et al. 2020; Kuhn et al. 2021). Insbesondere für komplexe und qualitätskritische Tätigkeiten bietet VR das Potenzial, Schulungsinhalte praxisnah abzubilden und individuelle Lernprozesse zu unterstützen (Coyne et al. 2019; Doğan & Şahin 2024).

Aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive sind Qualifizierung und Kompetenzentwicklung mit organisationalen Rahmenbedingungen und sozialen Interaktionen verknüpft. Die Wirkung von VR-Schulungen ergibt sich aus ihrer Einbettung in bestehende Arbeits- und Organisationsstrukturen und betrifft sowohl Lernprozesse als auch Zusammenarbeit in Teams. (Ventola 2019; Wespi et al. 2024). In regulierten Arbeitsumgebungen der pharmazeutischen Industrie, die durch GMP-Anforderungen geprägt sind, kommt diesen Aspekten eine besondere Bedeutung zu, da fehlerfreie Abläufe, klare Verantwortlichkeiten und standardisierte Prozesse zentral sind (Wespi et al. 2024).

Die Einführung von VR in Schulungsprozesse ist daher als organisationaler Veränderungsprozess zu betrachten. Organisationstheoretische Ansätze sowie Konzepte des Change Managements bieten einen Rahmen, um diese Einführung als mehrstufigen Prozess zu analysieren, der Planung, Umsetzung und Verstetigung umfasst (Harley 2024; Pathak & Malpani 2024). Im Mittelpunkt stehen dabei Akzeptanzfragen, die Einbindung relevanter Stakeholder sowie Anpassungen bestehender Qualifizierungsstrukturen.

Zur Analyse dieser komplexen Veränderungssituationen greift die Arbeit auf den Assoziativen-Scanning-Ansatz zurück. Der Ansatz dient dazu, unterschiedliche Einflussfaktoren, Akteure und Perspektiven strukturiert zu erfassen und Wechselwirkungen im Veränderungsprozess transparent darzustellen (Raabe 2024). Damit eignet er sich insbesondere für die Untersuchung von Technologieeinführungen in organisationalen Kontexten.

Empirische Studien zum Einsatz von VR in regulierten, Produktionsstätten sind bislang begrenzt. Der Schwerpunkt bestehender Arbeiten liegt häufig auf individueller Lernwirksamkeit oder technologischer Akzeptanz, während organisationale und soziale Effekte, etwa auf Qualifizierungsprozesse, Teamdynamiken oder Verantwortungsstrukturen, nur beiläufig betrachtet werden (Harley 2024; Pathak & Malpani 2024). Eine Berücksichtigung von Change-Management-Perspektiven ist in der VR-Schulungsforschung bislang kaum vorhanden.

Aus dieser Lücke ergibt sich die zentrale Forschungsfrage der Dissertation, die darauf abzielt zu untersuchen, unter welchen organisatorischen, prozessualen und sozialen Bedingungen VR-Schulungen in der pharmazeutischen Industrie wirksam eingeführt und genutzt werden können. Bestehende Lern- und Akzeptanzmodelle reichen hierfür nicht aus, da sie die Komplexität organisationaler Veränderungs-

prozesse nur unzureichend abbilden. Die Arbeit verfolgt daher einen Ansatz, der arbeitswissenschaftliche, organisationale und Change-Management-Aspekte gemeinsam betrachtet.

3. Methodisches Vorgehen und weiterer Forschungsplan

Die empirische Untersuchung basiert auf der Kombination unterschiedlicher Erhebungsformen (siehe Abbildung 1). Qualitative Interviews und Fokusgruppen innerhalb von Workshops werden eingesetzt, um Erfahrungen, Erwartungen und Anpassungsprozesse aus Sicht von Mitarbeitenden, Schulungsverantwortlichen und Führungskräften zu erfassen. Ergänzend werden standardisierte Befragungen durchgeführt, um Einstellungen, Akzeptanz und wahrgenommene Wirkungen der VR-Schulungen vergleichend abzubilden.

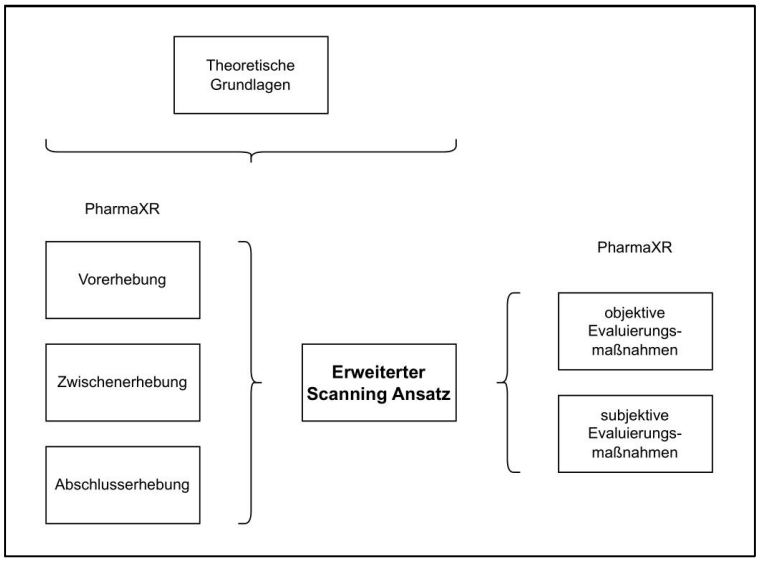


***Abbildung 1**: Forschungsdesign.*

Die Datenerhebung erfolgt im Rahmen des vom BMFTR geförderten Forschungsprojekts *PharmaXR* in mehreren Unternehmen der pharmazeutischen Industrie. Diese Unternehmen werden als Praxisunternehmen genutzt, in denen die VR-Schulungen unter realen betrieblichen Bedingungen eingeführt, begleitet und weiterentwickelt werden. Die Erhebungen sind in Vor-, Zwischen- und Abschlusserhebungen gegliedert, um Ausgangssituationen, Anpassungen während der Einführung und stabilisierte Praktiken zu erfassen. Der Einführungsprozess wird über mehrere Erhebungszeitpunkte hinweg begleitet (Vor-, Zwischen- und Abschlusserhebung). Diese Phasen stehen im Einklang mit der im Projekt definierten Vorgehensweise über zwei Iterationen (siehe Abbildung 2).

***Abbildung 2**: Platzierung der quantitativen Erhebungen im Kontext des Forschungsprojektes.*

Zur Strukturierung und Auswertung der Daten wird der Assoziative-Scanning-Ansatz eingesetzt und im Projektverlauf weiterentwickelt. Ausgangspunkt ist der bestehende Ansatz nach Raabe (2024), der auf die Analyse komplexer, mehrdimensionaler Veränderungssituationen ausgerichtet ist. Im Promotionsvorhaben wird er auf den Kontext der Einführung von VR-Schulungen übertragen und um organisations- und stakeholderbezogene Aspekte erweitert. Der Ansatz dient dazu, Einflussfaktoren, Akteure und deren Zusammenspiel im Einführungsprozess systematisch zu erfassen (Raabe 2024).

Die Anwendung des Scanning-Ansatzes ist mit den Erhebungsphasen verknüpft. Ergebnisse aus Vor-, Zwischen- und Abschlusserhebungen werden genutzt, um Veränderungen im Verlauf der Einführung zu berücksichtigen. Auf dieser Basis werden Implementierungsbedingungen und Erfolgsfaktoren abgeleitet und in einem Kriterienkatalog zusammengeführt. Der Kriterienkatalog stellt schlussendlich das Ergebnis der Arbeit dar.

4. Reflexion und Herausforderungen

Die eingesetzte VR-Schulungsumgebung bildet zentrale Arbeitsabläufe realitätsnah ab, kann jedoch nicht alle Funktionen eines realen Reinraumbetriebs vollständig abbilden. Damit ist die Aussagekraft der Ergebnisse auf jene Tätigkeiten begrenzt, die sich virtuell abbilden lassen. Zugleich erfordert der stark organisationsspezifische Zuschnitt der Schulungen eine reflektierte Betrachtung der Übertragbarkeit, da Prozesse, Rollen und Schulungspraktiken zwischen Unternehmen variieren.

Eine Herausforderung liegt in der begrenzten Zahl quantitativer Teilnehmender (n = 8), die nur in einem der zwei beteiligten Unternehmen erhoben werden konnte. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, Übertragbarkeit und Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse zu prüfen. Zur Bewältigung dieser Herausforderung wird der entwickelte Ansatz in einem reduzierten, vorerst einmaligen Format bei einem beteiligten Schulungsdienstleister im Forschungsprojekt angewendet. Ziel ist es, zusätzliche Daten zu generieren, die bisherigen Ergebnisse abzusichern und den abgeleiteten Kriterienkatalog breiter zu validieren.

5. Literatur

Coyne, L., Merritt, T. A., & Parmentier, B. L. (2019). The past, present, and future of virtual reality in pharmacy education. American Journal of Pharmaceutical Education, 83(3), 7456. 10.5688/ajpe7456

Doğan, E., & Şahin, Y. L. (2024). Virtual reality environment in pharmacy education: A cyclical study on instructional design principles. *Journal of Computer Assisted Learning*, 40(1), 269–287. 10.1111/jcal.12878

Harley, D. (2024). “This would be sweet in VR”: On the discursive newness of virtual reality. New Media & Society, 26(4), 2151–2167. 10.1177/14614448221084655

Heinlein, M., Huchler, N., Wittal, R. (2023). Erfahrungsgeleitetes Lernen in Virtual Reality-Umgebungen: Möglichkeiten der digital gestützten Kompetenzentwicklung im Arbeitsprozess. In: Kauffeld, S.,

Rothenbusch, S. (eds) Kompetenzen von Mitarbeitenden in der digitalisierten Arbeitswelt. Kompetenzmanagement in Organisationen. Springer, Berlin, Heidelberg. 10.1007/978-3-662-66992-1_10

Kaufmann, M., & Kranz, T. (2025). PharmaXR: Ein arbeitswissenschaftlicher Projektbericht zur menschengerechten Einführung von Virtual Reality in betrieblicher Aus-und Fortbildung und organisationalem Wandel. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 1-10. 10.1007/s41449-025-00493-2

Kuhn, S., Jungmann, F., Deutsch, K., & Choi, J. H. (2021). Chirurgische Ausbildung im digitalen Zeitalter – Virtual Reality, Augmented Reality und Robotik im Medizinstudium. Zentralblatt für Chirurgie, 146(1), 37–43. 10.1055/a-1265-7259

Pathak, S., & Malpani, D. (2024). Leveraging virtual reality to improve communication and collaboration in remote work. In Immersive technologies and organizational change (pp. 191–224). IGI Global. 10.4018/979-8-3693-6839-8.ch010

Raabe, K. (2024). Unterstützung von strategischen Entscheidungen in kollektiven Planungssituationen mittels Assoziativer-Scanning-Methode: Am Beispiel der Entwicklung zuverlässiger Werkstoffkomponenten auf Basis veränderter Anforderungen durch die Einbindung nachhaltiger Rohstoffe (Doctoral dissertation, Dissertation, Kassel, Universität Kassel, 2023). 10.17170/kobra-2024070410456

Wespi, R., Müller, A., & Schmutz, J. (2024). Teams GO VR—Validating the team in a virtual reality (VR) medical team training. Advances in Simulation, 9(1). 10.1186/s41077-024-00309-z

Wohlgenannt, I., Simons, A. & Stieglitz, S. Virtual Reality. Bus Inf Syst Eng **62**, 455–461 (2020). 10.1007/s12599-020-00658-9

Design, Entwicklung und Evaluation eines resilienz-orientierten Arbeitssystemmodells für produzierende KMU unter Einsatz einer interaktiven Lernumgebung zur Förderung von Resilienz in Arbeitssystemen

Felix GÜNTHER

Personal und Organisation, Hochschule Bielefeld
Langer Weg 9a, D-33332 Gütersloh

Kurzfassung: Die Forschung fokussiert die Verzahnung der Resilienztheorie mit der Unternehmensebene der Arbeitssysteme. Unter Einbeziehung der soziotechnischen Gestaltungsansätze wird ein resilienzorientiertes Arbeitssystemmodell nach dem DSR-Ansatz designt, entwickelt und in einer Lernfabrik evaluiert, welches sich zur Förderung der Resilienz eignet.

Schlüsselwörter: Resilienz, Arbeitssystem, soziotechnische Systeme, Lernfabrik, DSR

1. Forschungsthema

Die politischen und wirtschaftlichen Ereignisse der letzten beiden Jahrzehnte belasten Unternehmen weltweit in ihren Abläufen. Unsicherheiten und Dynamiken wie die Finanzkrise 2008/09, der Brexit 2016, der Ukraine-Russland Krieg und nicht zuletzt die Corona Pandemie haben großen Einfluss auf die Unternehmen und den weltweiten Handel, welche zu Störungen in den Abläufen führen (Müller et al., 2025). Die für die deutsche Wirtschaft wichtigen klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU), welche oftmals Inhaber geführt sind (Jahn, 2018), sind aufgrund der geringen finanziellen Mittel und des strukturellen Aufbaus in besonderem Maße betroffen (Bak et al., 2023). Unternehmen dieser Art und ihre soziotechnischen Systeme müssen in der Lage sein, die dargestellten Unsicherheiten und Dynamiken zu bewältigen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu sichern, da traditionelle soziotechnische Systeme in produzierenden KMU zwar auf Effizienz ausgelegt sind, jedoch nur eine begrenzte Robustheit gegenüber externen Störungen aufweisen (Sawaragi, 2020).

Aus diesem Grund widmet sich das Promotionsvorhaben der Gestaltung von resilienz-orientierten soziotechnischen Systemen mit Fokus auf die Arbeitssystem Ebene in produzierenden KMU. Durch das Entwickeln und Evaluieren von resilienzorientierten Gestaltungsansätzen in Arbeitssystemen, werden die Resilienz- und Arbeitssystemforschung miteinander verzahnt. Die Verzahnung wird mit Hilfe einer zu entwickelnden Lernumgebung durchgeführt, die es ermöglicht, resilienzorientierte Konzepte praxisnah zu erproben, systematisch zu evaluieren und auf unterschiedliche Arbeitssysteme zu übertragen

Die Promotion schließt eine Forschungslücke, indem es bestehendes Wissen zur Resilienzforschung auf eine Analyseebene (Arbeitssystem) überträgt und somit einen innovativen Beitrag zur resilienteren Organisationsgestaltung in Unternehmen leistet (Duchek, 2020). Da sich die organisationale Resilienzforschung auf die strategischen Fähigkeiten zur Bewältigung von Krisen fokussiert (Hoffmann, 2017), während der

Fokus der Arbeitssystemforschung auf der Gestaltung robuster und adaptiver soziotechnischer Systeme liegt (Fjodorovs et al., 2025), ist es von hoher Bedeutung diese Lücke zu schließen, um künftige Systeme gegen Ereignisse und deren Störungen resilient zu gestalten. Dadurch wird das Fortbestehen der finanziell mittelbeschränkten und ökonomisch bedeutenden KMU gestärkt, da sie in der Lage sind Störungen frühzeitig zu erkennen, mit Ihnen umzugehen und daraus lernen für künftige Ereignisse und Störungen. Auch gesellschaftliche Problemstellungen (z.B. Psychische Belastung am Arbeitsplatz) machen die Schließung der Lücke notwendig (Sträter, 2023), da der Mitarbeiter bei der Gestaltung unter Berücksichtigung der soziotechnischen Gestaltungsansätze eine besondere Aufmerksamkeit erhält.

Auch in Ihrem Paper gibt Duchek (2020) den Ausblick, dass künftige Studien sich mit der Entwicklung der Fähigkeit einer Organisation auf unerwarteten und bedrohlichen Situationen zu reagieren widmen sollten, sowie wie Organisationen aus solchen Situationen Erkenntnisse gewinnen und ihre Resilienz steigern können. Die Entwicklung solcher Gestaltungsansätze, „kann die arbeitswissenschaftliche Forschung zu soziotechnischen Systemen […] bereichern“ (Becke, 2021), sodass zudem die Verzahnung mit soziotechnischen Aspekten erfolgt.

Es ergeben sich folgende Forschungsfragen:

1. Wie sieht ein konzeptionelles Modell resilienz-orientierter Arbeitssysteme aus?
2. Wie ist eine Lernfabrik lerntheoretisch zu gestalten, um Lernenden ein Modell resilienz-orientierter Arbeitssysteme vermitteln zu können?
3. Welche Erkenntnisse aus der Lernfabrik dienen zur Weiterentwicklung des Modells und zur konkreten Resilienz Steigerung in Unternehmen

2. Forschungslücke

Das Promotionsvorhaben überträgt bestehendes Wissen der organisationalen Resilienzforschung auf die Ebene der Arbeitssysteme in Unternehmen, um die Resilienzfähigkeit des Unternehmens gegenüber Störungen ganzheitlich zu fördern. Dafür ist die Verzahnung der organisationalen Resilienzforschung mit der in der Literatur beschriebenen Arbeitssystemforschung unter Berücksichtigung der soziotechnischen Gestaltungsansätze notwendig, um ein resilienz-orientiertes Arbeitssystemmodell zu entwickeln. Trotz der anhaltenden und wiederkehrenden Störungen der Unternehmen, weist die Forschung sowohl konzeptionelle als auch empirische Lücken auf, obwohl dies von verschiedenen Autoren gefordert wird (Duchek, 2020; Sträter, 2023).

Bislang fehlt ein solches Modell, das die Resilienzfähigkeit auf die Arbeitssystemebene des Unternehmens darstellt und praxisorientiert umsetzt. In der aktuellen Literatur werden Resilienz-Studien häufig auf der strategischen Ebene der Gesamtorganisation untersucht und fokussieren sich auf einzelne Bereiche wie die Kultur (Linnenluecke, 2017). Die konkrete Übertragung auf die operative Ebene und Arbeitssysteme ist kaum erforscht.

Um die Thematik ganzheitlich zu betrachten und einen Mehrwert für die Forschung zu erlangen, wird ein konzeptionelles Modell für produzierende KMU entwickelt. Dieses Modell erhält neben den Haupttheorien ebenfalls Einfluss der Forschungstheorie der soziotechnischen Systeme. Die Theorie ist eine Ergänzung zu den beiden Hauptforschungsbereichen und unterstützen bei der Entwicklung des Modells durch die Gegenüberstellung und Bewertung der jeweiligen Ansätze. Außerdem wird damit die Aktualität und Notwendigkeit dieser Forschung unterstützt,

da die Bedeutung von soziotechnischen Systemen zunehmende Aufmerksamkeit erlangt (Hellmann, 2023), wie z.B. Menschen in Automationsprozesse mit eingebunden werden und welche Rolle sie besitzen.

Die Forschung wird durch eine neue Perspektive der Resilienzforschung auf Arbeitssystemebene unter Einbeziehung der soziotechnischer Gestaltungsansätze erweitert, wodurch eine ganzheitliche neue theoretische Perspektive geschaffen wird.

3. Die eigentliche Forschung, Methoden und Daten

Das kumulative empirische Forschungsvorhaben ist in drei Artikel unterteilt, die jeweils die aufgeführten Fragestellungen beantworten. Die Forschung wird unter Anwendung des Design Science Research (DSR) Ansatzes nach Hevner durchgeführt. Dabei wird ein Artefakt anhand der Problemstellungen designt, evaluiert und weiterentwickelt (Hevner et al., 2004).

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wird ein Literatur-Review, sowie eine problematisierende Literaturanalyse durchgeführt, um den bestehenden Forschungsstand in beiden Forschungsbereichen darzustellen und zudem kritisch zu hinterfragen (Dekkers et al., 2022; Jesson & Lacey, 2006). Zunächst werden beide Forschungsbereiche Resilienztheorie und Arbeitssystemtheorie jeweils separat beleuchtet. Dabei werden die vier Phasen der Resilienztheorie genauer betrachtet (Hollnagel et al., 2006). Im Bereich der Arbeitssystemtheorie werden etablierte Modelle (REFA und Alter) untersucht und auf mögliche resilienz-orientierte Weiterentwicklungspotenziale bewertet. In der weiteren Analyse liegt der Fokus besonders auf der Fragestellung, wieso das Forschungsvorhaben eine wichtige wissenschaftliche Bereicherung ist und welche Spannungsfelder zwischen den Forschungsfeldern vorhanden sind. Auch sollen gezielt Forschungslücken identifiziert werden. Die Analyse bietet die theoretische Grundlage (DSR: Environment und Knowledge Base) für das Design des Artefakts. Das erste Paper wird die Entwicklung und Gestaltung eines praxisorientierten theoretischen Modells eines resilienz-orientierten Arbeitssystems verfolgen. Einflüsse erhält die Gestaltung zudem aus den soziotechnischen-Gestaltungsansätzen, um die tragende Rolle des Mitarbeiters und seine Beziehung zu Technologie im Arbeitssystemkontext genauer zu beleuchten (Latniak et al., 2023).

Das entwickelte und gestaltete Modell wird in diesem Paper durch theoretische Fallbeispiele erstmalig evaluiert (Yin, 2018). Durch den Einbezug der weiteren Theorien und der ersten theoretischen Evaluation erfolgt eine regelmäßige Reflexion und Weiterentwicklung des Modells, welche nach dem DSR-Ansatz erfolgt.

Ist die theoretische Evaluation mit den Entwicklungsschleifen abgeschlossen, wird das Modell praxisnah mit einer Lernfabrik evaluiert. Das zweite Paper stellt den iterativen Prozess des Designs und des Evaluationskonzepts des Modells in der Lernfabrik dar (Abele, 2016). Die Lernfabrik fungiert hierbei als empirisches Experiment (Sudhoff et al., 2020), indem das Modell eines resilienz-orientierten Arbeitssystems dargestellt, evaluiert und weiterentwickelt werden kann. Die ingenieursorientierte Lernfabrik nach Abele (2016) ist eine physische, realitätsnahe Produktionsumgebung, in der Prozesse für eine Herstellung eines Produkts dargestellt und gezielt zur Kompetenzentwicklung dienen. Sie kombiniert technische, informelle und soziale Elemente in einem flexiblen System mit einem didaktischen Konzept, welches aktives Lernen fördert. Die Kernelemente der Lernfabrik sind die Zielorientierung, authentischer Prozess, Abbildung des Systems, das Produkt, die

Didaktik und das Betreibermodell (Abele, 2016). Diese Lernfabrik kann sowohl die technischen als auch sozialen Komponenten des Arbeitssystems in dem für die Evaluation genutzten produzierenden Unternehmen berücksichtigen. Damit ist man in der Lage besonders die soziotechnischen Aspekte zu prüfen.

Ausgangspunkt für das Design einer Lernfabrik sind konkrete Lernziele (Böttcher et al., 2015), aus denen ein didaktisches Konzept entwickelt wird. Die Lernziele für die Evaluation des Modells wurden in einem vorgelagerten für die Promotion aufbauenden einwöchigen Kurs erörtert.

Das physische Design der Lernfabrik stellt einen CNC-Bearbeitungszentrum Arbeitsplatz dar, welcher realitätsnah, aber abstrakt aufgebaut wird. Auch andere Faktoren des Arbeitssystems wie Umgebungseinflüsse und Arbeitsaufgaben werden realitätsnah abgebildet. Ziel ist eine realistische, praxisnahe und strukturierte Lern- und Evaluationsumgebung zu erhalten.

Im zweiten Paper wird ebenfalls das Evaluationskonzept entwickelt (Beywl & Balzer, 2008). Die Evaluation erfolgt sowohl formativ als auch summativ. Die formative Evaluation verfolgt den DSR-Ansatz, sodass bereits bei der Konzeption Meinungen von Mitarbeitern des zu untersuchenden Arbeitssystems, als auch von Experten einfließen. Die Meinungen werden im Rahmen von halbstrukturierten Interviews eingeholt und bewertet (DiCicco-Bloom & Crabtree, 2006). Dadurch gelingt es zum einen die Lernfabrik zu entwickeln, zum anderen das Modell weiterzuentwickeln, welches hier praktisch evaluiert werden soll. Mit Hilfe der summativen Evaluation wird geprüft, ob ein Kompetenzzuwachs bzw. ob die vordefinierten Lernziele erreicht worden sind. Die Ergebnisse werden mittels Beobachtungen gewonnen und bewertet (Ullrich & Oetting-Roß, 2021).

Es können sich erneute Reflexionsschleifen und Anpassungen des Modells oder der Lernfabrik ergeben, welche Teil des DSR-Ansatzes sind. So entsteht eine wissenschaftliche anpassungsfähige Lernfabrik, die kontinuierlich an neue Anforderungen und Erkenntnisse angepasst werden kann, aus welcher ein für die Praxis anwendbares Modell evaluiert werden kann.

Im dritten Paper wird der dritten Forschungsfrage nachgegangen. Dafür erfolgt die abschließende empirische Validierung des entwickelten Modells in der entwickelten Lernfabrik. Durch die geplante Untersuchung des Kompetenztransfers und dem Erreichen der Lernziele auf bestehende Arbeitssysteme im Unternehmen, lässt sich bewerten, unter welchen Bedingungen ein solches Modell implementiert werden kann (Albers, 2014). Die Evaluation und Weiterentwicklung des Modells erfolgten auf Grundlage des im zweiten Paper entwickelten Evaluationskonzepts. Dabei ist der Fokus, die zentrale Forschungsfrage zu untersuchen, inwiefern das entwickelte Modell in bestehende Arbeitssysteme des Unternehmens implementiert werden kann. Diese Evaluation erfolgt mittels offener Beobachtungen (Sowa et al., 2013) und qualitativen episodischen Interviews (Flick, 2011) mit Teilnehmenden der Lernfabrik und Führungskräften, bei mehreren Arbeitssystemen. Mittelpunkt der Analyse der Daten ist die Auswertung des Kompetenztransfers und des Erreichens der Lernziele, nicht der direkten Umsetzung im Arbeitssystem selbst des Teilnehmers. Von Interesse ist dabei, wie sich die in der Lernfabrik erworbenen Kompetenzen auf das Verhalten und die Entscheidungen im realen Arbeitssystem auswirken. Auch sollen Störfaktoren für die Implementierung erörtert und bewertet werden, wie organisatorische oder soziale Aspekte. Die Erkenntnisse fließen erneut in die Weiterentwicklung des Modells, sodass eine abschließende Optimierung nach dem DSR-Ansatz erfolgen kann. Ziel des Projekts ist ein praktisch einsetzbares, evaluiertes und in Teilen implementiertes Modell für resilienz-orientierte soziotechnische Arbeitssysteme.

4. Literatur

Abele, E. (2016). Learning Factory. In *CIRP Encyclopedia of Production Engineering* (S. 1–5). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7_16828-1

Albers, B. (2014). *Implementierung—Eine Zusammenfassung ausgewählter Forschungsergebnisse*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17970.09922

Bak, O., Shaw, S., Colicchia, C., & Kumar, V. (2023). A Systematic Literature Review of Supply Chain Resilience in Small–Medium Enterprises (SMEs): A Call for Further Research. *IEEE Transactions on Engineering Management*, *70*(1), 328–341. https://doi.org/10.1109/TEM.2020.3016988

Becke, G. (2021). *Organisationale Resilienz -ein neues theoretisches Rahmenkonzept für die arbeitswissenschaftliche Forschung*.

Beywl, W., & Balzer, L. (2008). Evaluationskonzepte für wissenschaftliche Weiterbildung—Zehn Schritte zur guten Evaluationskultur. *Qualität in der Wissenschaft*, *2*, 106–111.

Böttcher, A., Schlierkamp, K., Veronika, T., Zehetmeier, D., Kämper, A., & Nissler, A. (2015). *Lernziele – Zielorientiert zum Lehrerfolg*.

Dekkers, R., Carey, L., & Langhorne, P. (2022). *Making Literature Reviews Work: A Multidisciplinary Guide to Systematic Approaches*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90025-0

DiCicco-Bloom, B., & Crabtree, B. (2006). The qualitative research interview. *Medical education*, *40*, 314–321. https://doi.org/10.1111/j.1365-2929.2006.02418.x

Duchek, S. (2020). Organizational resilience: A capability-based conceptualization. *Business Research*, *13*(1), 215–246. https://doi.org/10.1007/s40685-019-0085-7

Fjodorovs, N., Panz, S., & Harder, P. (2025). Soziotechnisches Informationssystem für resiliente Produktion/Socio-technical information system for resilient production. *wt Werkstattstechnik online*, *115*(01–02), 58–65. https://doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-62

Flick, U. (2011). Das Episodische Interview. In G. Oelerich & H.-U. Otto (Hrsg.), *Empirische Forschung und Soziale Arbeit: Ein Studienbuch* (S. 273–280). VS Verlag für Sozialwissenschaften. https://doi.org/10.1007/978-3-531-92708-4_17

Hellmann, M. (2023). *Das Konzept des Soziotechnischen Systems—Vorschlag eines Rahmenmodells zur Analyse von Digitalisierungsprozessen*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16919.79527

Hevner, A., R, A., March, S., T, S., Park, Park, J., Ram, & Sudha. (2004). Design Science in Information Systems Research. *Management Information Systems Quarterly*, *28*, 75.

Hoffmann, G. P. (2017). *Organisationale Resilienz*. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53944-6

Hollnagel, E., Woods, D., & Leveson, N. (2006). Resilience Engineering: Concepts and Precepts. *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*.

Jahn, V. (2018). The importance of owner-managed SMEs and regional apprenticeship activity: Evidence from the German Mittelstand. *Empirical Research in Vocational Education and Training*, *10*(1). https://doi.org/10.1186/s40461-018-0068-5

Jesson, J., & Lacey, F. (2006). How to do (or not to do) a critical literature review. *Pharmacy Education*, *6*. https://doi.org/10.1080/15602210600616218

Latniak, E., Tisch, A., & Kauffeld, S. (2023). Zur Aktualität soziotechnischer Arbeits- und Systemgestaltungsansätze in Zeiten von Digitalisierung und KI. *Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO)*, *54*(1), 1–8. https://doi.org/10.1007/s11612-023-00673-w

Linnenluecke, M. K. (2017). Resilience in Business and Management Research: A Review of Influential Publications and a Research Agenda. *International Journal of Management Reviews*, *19*(1), 4–30. https://doi.org/10.1111/ijmr.12076

Müller, H., Blagov, B., Schmidt, T., Rieger, J., & Jentsch, C. (2025). The macroeconomic impact of asymmetric uncertainty shocks. *The Journal of Economic Asymmetries*, *31*, e00410. https://doi.org/10.1016/j.jeca.2025.e00410

Sawaragi, T. (2020). Design of resilient socio-technical systems by human-system co-creation. *Artificial Life and Robotics*, *25*(2), 219–232. https://doi.org/10.1007/s10015-020-00598-3

Sowa, F., Staples, R., Theuer, S., & Althaus, R. (2013). Beratungsgespräche in der Arbeitsverwaltung teilnehmend beobachten. Reflexion über eine Methode der qualitativen Sozialforschung. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, *Vol 14*, No 2 (2013). https://doi.org/10.17169/FQS-14.2.1831

Sträter, O. (2023). Basisarbeit und menschengerechte Arbeitsgestaltung – Strategische Erfordernisse und Ansätze. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, *77*(4), 567–577. https://doi.org/10.1007/s41449-023-00398-y

Sudhoff, M., Prinz, C., & Kuhlenkötter, B. (2020). A Systematic Analysis of Learning Factories in Germany—Concepts, Production Processes, Didactics. *Procedia Manufacturing*, *45*, 114–120. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.081

Ullrich, C., & Oetting-Roß, C. (2021). Beobachtung als Methode qualitativer Forschung: Eine flexible, kontextbezogene Forschungsstrategie. In M. Niederberger & E. Finne (Hrsg.), *Forschungsmethoden in der Gesundheitsförderung und Prävention* (S. 459–480). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-31434-7_17

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (Sixth edition). SAGE.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Mensch-KI-Teams: Veränderte Teamprozesse und ihre Auswirkungen auf die Teamleistung

Ailina OELMUELLER

Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, D-44801 Bochum

Kurzfassung: In diesem Dissertationsvorhaben wird untersucht, wie sich die Integration künstlicher Intelligenz in Teams auf teaminterne Prozesse und emergente Zustände auswirkt und wie diese Veränderungen die Teamleistung in Mensch-KI-Teams beeinflussen. Die Annahme ist, dass uneinheitliche Leistungseffekte in Mensch-KI-Teams auf veränderte Teammediatoren zurückzuführen sind, die aus der interdependenten Kopplung sozialer und technischer Systemkomponenten entstehen. Als theoretische Bezugsbasis dient das Input-Mediator-Output-Input-Modell. Das Fundament der Dissertation ist eine kumulative Arbeit, die einen theoretisch-konzeptionellen Beitrag mit empirisch-experimentellen Untersuchungen zur Teamleistung in Mensch-KI-Teams verbindet.

Schlüsselwörter: Mensch-KI-Teams, Teamperformanz, Soziotechnische Systeme, Teamprozesse

1. Einleitung

Die zunehmende Integration künstlicher Intelligenz (KI) in Teamarbeit eröffnet durch ihre fortgeschrittenen Informationsverarbeitungs- und Interaktionsfähigkeiten neue Möglichkeiten, menschliche Fähigkeiten zu ergänzen, Entscheidungsprozesse zu unterstützen und die Produktivität zu steigern (Lou et al. 2025). Trotz des Potenzials künstlicher Intelligenz zur Steigerung der Teamperformanz zeigen empirische Befunde, dass der Einsatz von KI in Teamarbeit nicht durchgängig mit verbesserter Teamleistung einhergeht: Während einige Studien vergleichbare Ergebnisse zu rein menschlichen Teams finden (z. B. Demir et al. 2018), berichten andere von Leistungsunterschieden (z. B. Fügener et al. 2021 & Schelble et al. 2022). Teilweise führt die Einbindung einer KI in Teams zu geringerer Leistung (z. B. Fügener et al. 2021), in anderen Fällen jedoch zu einer höheren objektiven oder subjektiven Teamleistung (z. B. Schelble et al. 2022).

Eine mögliche Erklärung für die uneinheitlichen Leistungseffekte liegt in gruppeninternen Prozessen sowie emergenten Zuständen, über die Teamperformanz vermittelt wird und die sich im Zuge der Integration von KI in Teams verändern (Zercher et al. 2023). Während erste Studien zeigen, dass KI zentrale Prozesse wie Informationsverarbeitung (Kearney et al. 2022), Konfliktdynamiken und Zusammenhalt (Luksyte et al. 2022) sowie den Informationsaustausch (van Knippenberg et al. 2024) beeinflussen kann, sind weitere intragruppale Prozesse, die für Leistung in menschlichen Teams nachweislich relevant sind, im Kontext von Mensch-KI-Teams bislang wenig erforscht (Zercher et al. 2023).

Insbesondere Konstrukte wie geteilte mentale Modelle wurden bislang überwiegend aus menschlichen Interaktionslogiken abgeleitet und implizieren sozial-kognitive Eigenschaften, die aufseiten algorithmischer Systeme nur eingeschränkt oder gar

nicht gegeben sind (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine [NASEM] 2021). Insgesamt fehlt es bislang an einer systematischen Untersuchung einiger zentraler teaminterner Prozesse sowie emergenter Zustände im Kontext von Mensch-KI-Teams (Zercher et al. 2023), insbesondere in experimentellen Designs, die reale Interaktionen mit KI-Systemen sowie mehrpersonale Teamkonstellationen über dyadische Settings hinaus berücksichtigen (Zercher et al. 2023). Vor diesem Hintergrund untersucht die Arbeit, wie die Integration von KI als technische Systemkomponente in Teams interdependente Teamprozesse und emergente Zustände in Mensch-KI-Teams verändert und wie diese Veränderungen die Teamleistung vermitteln.

2. Theoretischer Hintergrund

Die Arbeit ist im Bereich der Betriebswirtschaftslehre angesiedelt und widmet sich der Analyse von Teamperformanz im Kontext von Mensch-KI-Teams. Aufbauend darauf werden im Folgenden die zentralen theoretischen Bezugspunkte erläutert, die den Rahmen für die Arbeit bilden.

2.1 KI & Mensch-KI-Teams

Um Teamperformanz in Mensch-KI-Teams analysieren zu können, ist zunächst eine begriffliche Klärung der zugrunde liegenden Konzepte erforderlich. KI wird als softwarebasiertes, teils autonomes System verstanden, das menschliche kognitive Funktionen wie Lernen, Interagieren, Problemlösen und Entscheiden algorithmisch ausführt (Dellermann et al. 2021). *Machine Learning* bildet hierbei ein zentrales Teilgebiet der KI. Es bezeichnet Verfahren, bei denen Systeme ihre Leistungsfähigkeit bei einer bestimmten Aufgabenklasse durch Erfahrung verbessern, indem sie aus Daten lernen und ihr Verhalten adaptiv anpassen (Dellermann et al. 2021). Mit zunehmender Autonomie können KI-Systeme eigenständige Beiträge zu teambezogenen Arbeitsprozessen leisten (Berretta et al. 2023).

Vor diesem Hintergrund beschreibt Mensch-KI-Teaming die interdependente Zusammenarbeit zwischen einem oder mehreren Menschen und einem oder mehreren (teil-)autonomen KI-Systemen, die mit komplementären Fähigkeiten als Teil eines soziotechnischen Systems gemeinsam auf ein Ziel hinarbeiten (Berretta et al. 2023). Die Leistungswirkungen von Mensch-KI-Teams ergeben sich folglich aus der wechselseitigen Verschränkung sozialer und technischer Elemente (Berretta et al. 2023).

2.2 Bedingungen erfolgreicher Mensch-KI-Teams

Um die Leistungsfähigkeit von Mensch-KI-Teams systematisch analysieren zu können, bedarf es eines strukturierten Bezugsrahmens zur Einordnung relevanter teaminterner Prozesse und emergenten Zustände. Die NASEM (2021) identifizierte folgende vier zentrale Bedingungen für erfolgreiche Mensch-KI-Teams: (1) die Fähigkeit des Menschen, das Verhalten der KI zu verstehen und zu antizipieren, (2) der Aufbau eines angemessenen Vertrauensverhältnisses, (3) die Fähigkeit, Systemausgaben angemessen in Entscheidungen zu integrieren sowie (4) die Fähigkeit zur Kontrolle und zum situationsangemessenen Umgang mit dem System.

2.3 Input-Mediator-Output-Input-Modell

Zur systematischen Analyse der von der NASEM (2021) formulierten Bedingungen wird das Input-Mediator-Output-Input-Modell (IMOI) nach Ilgen et al. (2005) und Mathieu et al. (2008) herangezogen. Das Modell konzeptualisiert Teamleistung als Ergebnis von Inputfaktoren wie Ressourcen, Aufgaben-, Team- und KI-Merkmalen, die über Mediatoren vermittelt werden. Diese Mediatoren umfassen dabei sowohl Prozesse wie Kommunikation und Koordination als auch emergente Zustände wie geteilte Kognitionen oder Vertrauen. Die resultierenden Outputs, etwa Teamleistung, wirken wiederum als Inputs auf nachfolgende Interaktionszyklen zurück, wodurch eine dynamische Betrachtung von Anpassungs- und Lernprozessen in Mensch-KI-Teams ermöglicht wird (Ilgen et al. 2005).

3. Methodik / Paper

In Form einer kumulativen Arbeit wird untersucht, wie sich intragruppale Prozesse sowie emergente Zustände in soziotechnischen Mensch-KI-Systemen verändern und in welcher Weise diese Veränderungen die Teamleistung beeinflussen.

3.1 Paper 1: Theoretisch-konzeptioneller Beitrag

Die Bedingungen für eine erfolgreiche Mensch-KI-Zusammenarbeit im NASEM-Report sind primär auf einer abstrakten Zielebene formuliert, ohne systematisch zu erläutern, wie sie sich in konkrete, dynamische Mediatoren übersetzen lassen. Vor diesem Hintergrund verfolgt das erste Paper das Ziel, die NASEM-Bedingungen systematisch in das IMOI-Framework zu integrieren. Ausgangspunkt ist die Annahme der Teamforschung, dass Teamleistung maßgeblich über vermittelnde Prozesse und emergente Zustände erklärt wird (Ilgen et al. 2005). Gleichzeitig wird argumentiert, dass zentrale Mediatoren wie geteilte mentale Modelle oder Vertrauen bislang überwiegend auf menschliche Interaktionslogiken ausgerichtet sind und implizit Eigenschaften wie Empathie und moralische Integrität voraussetzen. Da diese Eigenschaften aufseiten von KI nicht vorliegen, KI jedoch über eigene technikspezifische Merkmale verfügt, stellt sich die Frage, wie sich Teammediatoren infolge der interdependenten Kopplung sozialer und technischer Systemkomponenten verändern (Zercher et al. 2023). Die zentrale Forschungsfrage von Paper 1 lautet daher: Wie lassen sich die im NASEM-Report formulierten Bedingungen erfolgreicher Mensch-KI-Zusammenarbeit zentralen Teammediatoren des IMOI-Frameworks zuordnen, und inwiefern verändern sich diese Mediatoren im Vergleich zu Mensch-Mensch-Teams infolge der interdependenten Kopplung sozialer und technischer Systemkomponenten?

Auf der Grundlage dieser vier Bedingungen werden vier zentrale Mediatoren theoretisch hergeleitet und explizit für Mensch-KI-Teams adaptiert. Mögliche Mediatoren könnten sein (siehe Tabelle 1): (1) Geteilte mentale Modelle zur KI (kognitiver Mediator), (2) Kalibrierung von Vertrauen (affektiver Mediator), (3) Integration von KI-Empfehlungen (behavioraler Mediator) sowie (4) Koordination der Mensch-KI-Zusammenarbeit (NASEM 2021).

Das Paper zeigt, dass erfolgreiche Mensch-KI-Teams eine systematische Adaption klassischer Teammediatoren erfordern, da Prozesse und emergente Zustände aus der interdependenten Kopplung menschlicher und technischer Systemkomponenten

entstehen. Damit leistet die Arbeit einen theoretischen Beitrag zur Teamforschung und schlägt ein prozessuales Rahmenmodell für Mensch-KI-Teams vor.

Tabelle 1: *Vorläufig abgeleitete Mediatoren.*

NASEM-Bedingung	**Klassischer Mediator in Mensch-Mensch-Teams**	**Relevante KI-Charakteristika**	**Konsequenz: Veränderter Mediator in Mensch-KI-Teams**
(1) Verständnis und Antizi-pation	Geteilte mentale Modelle: Entstehen durch implizite soziale Abstimmung, gemeinsame Erfahrung und wechselseitige Perspektivenübernahme zwischen menschlichen Akteuren (NASEM 2021).	Algorithmische Entscheidungslogik, fehlende soziale Intentionalität, begrenzte Transparenz (NASEM 2021).	Geteilte mentale Modelle zur KI: Emergent aus der Kopplung menschlicher Interpretation und technischer Systemreaktionen; Antizipation basiert auf *Situation Awareness* sowie Transparenz und Stabilität des KI-Systems (NASEM 2021).
(2) Vertrauens-verhältnis	Interpersonales Vertrauen: Affektives und kognitives Vertrauen, basierend auf sozialen Signalen, Kommunikation und gemeinsamen Erfahrungen (NASEM 2021).	Fehlende Intentionalität, kontextabhängige und variable Performanz (NASEM 2021).	Kalibrierung von Vertrauen: Dynamische, leistungsbasierte Anpassung des Vertrauens an Systemzuverlässigkeit und Kontext, ohne Zuschreibung moralischer Intentionen (NASEM 2021).
(3) Entschei-dungsqualität	Team-Informations-integration: Gemeinsames Sammeln und Abgleichen verteilter Informationen, beeinflusst durch soziale Dynamiken wie Konformität oder Autorität (Reader 2017).	Algorithmisch generierte Empfehlungen, probabilistische Unsicherheit, algorithmische Biases, Black-Box-Charakter (NASEM 2021).	Integration von KI-Empfehlungen: Strukturierter Prozess der Bewertung und Gewichtung von KI-Outputs unter Berücksichtigung von Unsicherheit sowie KI- und Mensch-Biases (NASEM 2021).
(4) Kontrolle / Umgang	Koordination: Reziproke Abstimmung, implizite Rollenübernahme und flexible Anpassung zwischen menschlichen Teammitgliedern (NASEM 2021).	Asymmetrische Anpassungs-fähigkeit, fehlende Eigenverantwortung, Abhängigkeit von expliziten Interaktions- und Steuerungsschnittstellen (NASEM 2021; Wiredu et al. 2023).	Koordination der Mensch-KI-Interaktion: Soziotechnischer Koordinationsprozess, der aus der fortlaufenden Abstimmung menschlicher Steuerung und technischer Systemlogik emergiert (NASEM 2021).

3.2 Paper 2: Experimentelle Untersuchung: Mental Model Alignment

Der zweite Beitrag zielt darauf ab, Mediatoren der Mensch-KI-Zusammenarbeit auf Teamebene empirisch innerhalb eines Labor-*Escaperooms* zu untersuchen.

Aufbauend auf dem IMOI-Framework wird argumentiert, dass die Transparenz der Entscheidungslogik der KI nicht unmittelbar zu einer verbesserten Teamleistung führt, sondern seine Wirkung indirekt über kognitive Teammediatoren entfaltet (Ilgen et al. 2005). Im Zentrum steht dabei das geteilte mentale Modell zur KI (erster identifizierter Mediator in Paper 1) als zentraler teambezogener Mediator. In Mensch-KI-Teams ist dieses als emergentes Ergebnis der interdependenten Wechselwirkung zwischen menschlicher Kognition, technischer Systemrepräsentation und Aufgabenanforderungen zu verstehen (NASEM 2021). Die KI fungiert dabei nicht nur als Objekt mentaler Repräsentation, sondern beeinflusst durch Verhalten, Transparenz und Interaktionslogik die Ausbildung geteilter mentaler Modelle über ihre Funktionsweise, Stärken und Grenzen (NASEM 2021). Die zentrale Forschungsfrage von Paper 2 lautet daher: Wie beeinflusst die Transparenz der Entscheidungslogik eines KI-Systems die Ausprägung geteilter mentaler Modelle zur KI in Mensch-KI-Teams, und inwiefern wirken diese Modelle als Ergebnis der interdependenten Kopplung menschlicher und technischer Akteure auf die Teamleistung?

Zur Prüfung wird ein experimentelles *Between-Subjects-Design* auf Teamebene umgesetzt, in dem Teams unter unterschiedlichen Transparenzbedingungen mit einem KI-System zusammenarbeiten. Verglichen werden eine Black-Box-Bedingung, in der ausschließlich Systemoutputs bereitgestellt werden und eine Glass-Box-Bedingung, in der zusätzlich strukturierte Informationen zur Entscheidungslogik der KI verfügbar sind. Die Transparenzmanipulation adressiert damit gezielt die Fähigkeit der Teammitglieder, das Verhalten der KI zu verstehen und zu antizipieren.

Das geteilte mentale Modell zur KI wird als emergenter Teamzustand konzeptualisiert, der aus der interdependenten Wechselwirkung menschlicher Kognitionen, technischer Systemrepräsentationen und situativer Aufgabenanforderungen hervorgeht. Die Erfassung erfolgt mittels eines standardisierten Fragebogens, der das innerhalb des Teams geteilte Systemverständnis abbildet, insbesondere den Grad der Übereinstimmung hinsichtlich Annahmen über Funktionsweise, Stärken und Grenzen der KI. Die individuellen Einschätzungen werden zur Abbildung des teambezogenen mentalen Modells aggregiert. Als Output-Variable wird die objektive Teamperformanz im Sinne produktivitätsbezogener Leistung herangezogen. Diese wird über leistungsbezogene Indikatoren wie Bearbeitungsgeschwindigkeit, Fehleranzahl und Anzahl genutzter Hinweise operationalisiert.

4. Bedeutung und erwarteter Beitrag der Arbeit

Die Arbeit leistet einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Teamforschung, indem sie zeigt, wie die interdependente Kopplung menschlicher und technischer Systemkomponenten Prozesse, emergente Zustände und Leistung in Mensch-KI-Teams prägt, und daraus praxisorientierte Gestaltungsleitlinien ableitet.

5. Literatur

Berretta S, Tausch A, Ontrup G, Gilles B, Peifer C, Kluge A (2023) Defining human-AI teaming the human-centered way: a scoping review and network analysis. Frontiers in Artificial Intelligence 6: 1250725. https://doi.org/10.3389/frai.2023.1250725

Dellermann D, Calma A, Lipusch N, Weber T, Weigel S, Ebel P (2021) The future of human-AI collaboration: a taxonomy of design knowledge for hybrid intelligence systems. arXiv preprint:2105.03354. https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.03354

Demir M, McNeese NJ, Cooke NJ (2018) The impact of perceived autonomous agents on dynamic team behaviors. IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence 2(4): 258–267.

Feng X, Ji M, Li Z, Qu X, Liu B (2017) Team effectiveness based optimization.

Fügener A, Grahl J, Gupta A, Ketter W (2021) Will humans-in-the-loop become borgs? Merits and pitfalls of working with AI. Management Information Systems Quarterly 45(3): 1527–1556. https://doi.org/10.25300/MISQ/2021/16553

Ilgen DR, Hollenbeck JR, Johnson M, Jundt D (2005) Teams in organizations: From input-process-output models to IMOI models. Annual Review of Psychology 56: 517–543.

Kearney E, Razinskas S, Weiss M, Hoegl M (2022) Gender diversity and team performance under time pressure: The role of team withdrawal and information elaboration. Journal of Organizational Behavior 43(7): 1224–1239. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.56.091103.070250

Lou B, Lu T, Raghu TS, Zhang Y (2025) Unraveling human-AI teaming: A review and outlook. arXiv preprint:2504.05755. https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.05755

Luksyte A, Avery DR, Parker SK, Wang Y, Johnson LU, Crepeau L (2022) Age diversity in teams: Examining the impact of the least agreeable member. Journal of Organizational Behavior 43(3): 546–565. https://doi.org/10.1002/job.2570

Mathieu J, Maynard MT, Rapp T, Gilson L (2008) Team effectiveness 1997–2007: A review of recent advancements and a glimpse into the future. Journal of Management 34(3): 410–476.

National Academies of Sciences, Engineering and Medicine (2021) Human-AI Teaming: State of the art and research needs. Washington DC: National Academies of Sciences, Engineering and Medicine.

Reader TW (2017) Team decision making. In: The Wiley Blackwell Handbook of the Psychology of Team Working and Collaborative Processes. Chichester: Wiley-Blackwell, 271–296. https://doi.org/10.1002/9781118909997.ch12

Schelble BG, Flathmann C, McNeese NJ, Freeman G, Mallick R (2022) Let's think together! Assessing shared mental models, performance, and trust in human-agent teams. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction 6(GROUP): 1–29. https://doi.org/10.1145/3492832

van Knippenberg D, Li J, Tu Y (2024) Team informational resources, information elaboration, and team innovation: Diversity mindset moderating functional diversity and boundary-spanning scouting effects. Journal of Occupational and Organizational Psychology 97(4): 1835–1853. https://doi.org/10.1111/joop.12541

Wiredu J, Kumi M, Ademola PH (2023) An investigation on the characteristics, abilities, constraints, and functions of artificial intelligence (AI): The age of ChatGPT as an essential. Information and Management 108(3): 62614–62620. https://doi.org/10.37118/ijdr.26689.05.2023

Zercher D, Jussupow E, Heinzl A (2023) When AI joins the team: A literature review on intragroup processes and their effect on team performance in team-AI collaboration.

GfA, Sankt Augustin (Hrsg.): Frühjahrskongress 2026, Kassel
Menschengerechte Arbeitsgestaltung

Einfluss einer motorisierten Rolle auf Handkräfte beim Bewegen von Krankenhausbetten

Alina BOLA, Niels HINRICHER, Chris SCHRÖER, Hendrik LUDEWIG, Claus BACKHAUS

Zentrum für Ergonomie und Medizintechnik, FH Münster
Bürgerkamp 3, D-48565 Steinfurt

Kurzfassung: In dieser Studie wurde eine motorisierte Rolle untersucht, die eine der vier äußeren Rollen eines Krankenhausbettes ersetzt. Dreizehn Pflegekräfte transportierten ein standardisiertes Bett mit und ohne motorisierte Rolle durch einen realitätsnahen Parcours mit Rampen, Kurven, Fluren und Aufzug. Handkräfte wurden mittels Kraftmessgriffe erfasst. Die motorisierte Rolle reduzierte die Handkräfte um bis zu 45 %, mit den größten Effekten beim Fahren auf Rampen. Insgesamt kann die motorisierte Rolle die körperliche Beanspruchung beim Bettentransport signifikant verringern. Es werden jedoch auch mit Unterstützung ergonomische Grenzwerte überschritten.

Schlüsselwörter: Arbeitsentlastung, Pflege, Elektrische Rolle, Handkraft, Bettentransport

1. Situation

Pflegekräfte weisen im Vergleich zu anderen Berufsgruppen eine überdurchschnittlich hohe Prävalenz von Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) auf. Rückenschmerzen stellen dabei mit einer Jahresprävalenz von 55 % die häufigste Beschwerde dar, gefolgt von Schulter- (44 %) und Nackenschmerzen (42 %) (Davis & Kotowski 2015).

Das Schieben von Krankenhausbetten gehört für viele Pflegekräfte zu den täglichen Aufgaben (Poole Wilson et al. 2015). Dabei treten hohe Belastungen für das Muskel-Skelett-System aufgrund der zurückzulegenden Distanzen sowie das hohe Eigengewicht der Krankenhausbetten und teilweise auch der Patienten auf. Insgesamt gilt das Bewegen von Krankenhausbetten als eine der physisch belastendsten Tätigkeiten im Pflegealltag (Ando et al. 2000; Wiggermann 2017; Zhou & Wiggermann 2017).

Die Integration von Antriebssystemen direkt am Krankenhausbett kann Pflegekräfte physisch entlasten. Vor diesem Hintergrund wurde von den Unternehmen TENTE (TENTE-ROLLEN GmbH, Wermelskirchen, Deutschland) und LINAK (LINAK A/S, Nordborg, Dänemark) die elektrisch angetriebene Rolle „WeAssist“ entwickelt. Diese Rolle lässt sich nach dem Plug- und Play Prinzip und ohne spezielles Werkzeug an bestehende Krankenhausbetten montieren.

Anders als bisherige Systeme wird diese Rolle nicht als fünfte Rolle montiert, sondern ersetzt eine der vier äußeren Rollen. Dadurch können auch ältere Krankenhausbetten nachgerüstet werden, wodurch dieses System das Potenzial hat, viele Pflegekräfte bei der täglichen Arbeit physisch zu entlasten.

Sensoren in der Rolle erfassen, wenn eine Pflegekraft das Bett bewegt, abbremst oder bergauf bzw. bergab fährt, z.B. auf einer Rampe. Die integrierte Software erkennt

diese Bewegungen und aktiviert automatisch einen im Rollengehäuse verbauten Elektromotor, der beim Schieben oder Bremsen unterstützt. Im Unterschied zu bisherigen motorisierten Systemen erfolgt die Steuerung der Unterstützung ohne zusätzliche Bedienelemente wie Gashebel oder Schalter. Die Pflegekräfte bewegen das motorisierte Bett wie ein herkömmliches Bett.

Bei der Entwicklung des Systems galt es, eine Balance zwischen unterstützender Kraft, Sicherheit und Usability zu finden. Die Rolle soll die Pflegekräfte spürbar entlasten, gleichzeitig aber jederzeit eine sichere und kontrollierte Manövrierbarkeit des Bettes gewährleisten.

In dieser Studie wird untersucht, inwiefern die motorisierte Rolle die Handkräfte bei typischen Transportsituationen in einem Krankenhaus reduzieren kann.

2. Methoden

2.1 Stichprobe und Versuchsaufbau

An der Studie nahmen 13 Pflegekräfte teil (5 m, 8 w). Das durchschnittliche Alter betrug 31 ± 5 Jahre, das mittlere Körpergewicht 77 ± 16 kg und die Körpergröße 172 ± 10 cm. Die Teilnehmenden verfügten im Mittel über 10 ± 6 Jahre Berufserfahrung. Zehn gaben an, Krankenhausbetten täglich zu bewegen, drei wöchentlich. Zum Zeitpunkt der Erhebung lagen keine Muskel-Skelett-Beschwerden vor. Die Teilnehmenden trugen ihr übliches berufliches Schuhwerk, unterzeichneten eine Einverständniserklärung und erhielten eine Aufwandsentschädigung.

Die Versuche wurden mit einem Krankenhausbett der Firma Völker (S 962-2, Völker GmbH, Witten, Deutschland) durchgeführt. Das Bett wiegt 143 kg und misst 220 × 90 cm. Das Bett wurde mit 107 kg Zusatzlast beladen, bestehend aus einer Patientenpuppe, Kraftmessgriffen, einem Laptop und Gewichten. Dies entspricht dem 90. Perzentil des Körpergewichts 60- bis 69-jähriger Männer in Deutschland (Fischer et al. 2020) und gilt als repräsentativ für einen Krankenhauspatienten. Das Gesamtgewicht inklusive Matratze betrug 260 kg.

Die Pflegekräfte bewegten das identische Bett sowohl ohne Unterstützung als auch mit der motorisierten Rolle, die am vorderen linken Fußteil montiert war.

2.2 Versuchsablauf

Die Messungen wurden im Versorgungsbereich eines deutschen Krankenhauses durchgeführt. Die in Abbildung 1 dargestellte Teststrecke ist 240 m lang und umfasst drei 90°-Rechtskurven, eine 90°-Linkskurve, einen Aufzug sowie eine 17 m lange Rampe mit 3,5 % Steigung und eine 12 m lange Rampe mit 7 % Steigung. Mit Ausnahme der 7 %-Rampe war der Boden durchgehend gefliest. Die Rampe stellte den Übergang zu einer Station dar und war mit krankenhaustypischem Linoleumbelag belegt.

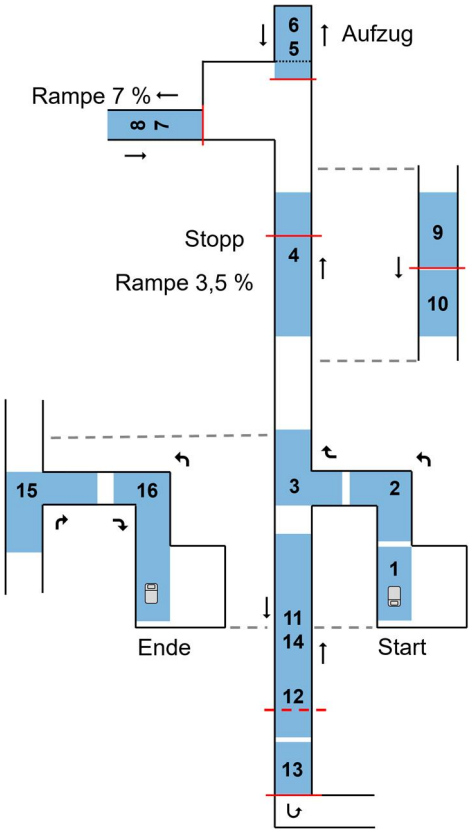


***Abbildung 1**: Schematische Darstellung des Testparcours mit zeitlicher Abfolge der untersuchten Intervalle (1-16). Rote Markierungen kennzeichnen definierte Stopppunkte, an denen das Bett zum Stillstand gebracht wurde. In der Folge wurde das Bett jeweils aus dem Stillstand beschleunigt.*

Abbildung 1 zeigt zudem die untersuchten Streckenintervalle. Insgesamt wurden 16 Intervalle analysiert. Die Intervalle 1 und 13 (Startphase Schieben ebene Fläche), 3 und 15 (Rechtskurve) sowie 11 und 14 (Rollphase) wurden jeweils gemeinsam ausgewertet. In der Abbildung sind die Intervalle fortlaufend nummeriert, um die Abfolge und den Verlauf des Testparcours nachvollziehen zu können. In jeder Bewegungsvariante wurden auf Signal des Versuchsleiters zweimal Notbremsungen (Intervall 12) während der Rollphase auf einem langen Korridor (Intervalle 11 und 14) eingebaut.

Jede Versuchsperson absolvierte den Parcours jeweils dreimal mit und dreimal ohne motorisierte Rolle. Die Startkonfiguration wurde randomisiert. Zur Vorbereitung führten alle Teilnehmenden in beiden Konfigurationen (manuell und unterstützt) einen Probelauf durch, um sich mit dem Parcours und dem Manövrieren des Betts vertraut zu machen. Die Versuche sollten in typischer Arbeitsgeschwindigkeit durchgeführt werden.

2.3 Datenerfassung und -auswertung

Zur Bestimmung der Handkräfte, die eine Pflegekraft beim Bewegen des Krankenhausbetts mit und ohne motorisierte Rolle aufbringen muss, wurden dreidimensional messende Kraftmessgriffe (Typ 9809A, Kistler Instrumente AG, Schweiz) eingesetzt. Die Kraftmessgriffe wurden an das Bett befestigt.

Die Höhe der Kraftmessgriffe wurde individuell an die Körperhöhe der Versuchsteilnehmer angepasst und entsprach der Mitte zwischen Handgelenk und

Ellenbogen bei aufrechtem Stand und nach unten ausgestreckten Armen (Brütting et al. 2017).

Aus den drei Kraftkomponenten im lokalen Koordinatensystem wurden Richtung und Betrag der jeweiligen Handkraft berechnet. Die Messfrequenz betrug 50 Hz. Zur Datenerfassung wurde ein Laptop (Precision 7540, Dell Technologies Inc., USA) verwendet. Zwei Kameras (GoPro Hero 11, GoPro Inc., USA) zeichneten den Versuchsablauf auf, eine am Fußende des Betts und eine am Kopfende mit Blick auf die Versuchsperson.

Für jedes der 16 Intervalle wurden die mittlere Kraft und die Maximalkraft berechnet, die die Versuchspersonen zum Bewegen der beiden unterschiedlichen Bettkonfigurationen aufwenden mussten. Dazu wurden zunächst die Intervalle der drei Durchläufe jeder Versuchsperson gemittelt. Anschließend wurden Gesamtmittel- und Gesamtmaximalwerte inklusive Standardabweichung (SD) ermittelt, indem die individuellen Mittel- bzw. Maximalwerte aller Versuchspersonen arithmetisch gemittelt wurden.

Die gemessenen Mittel- und Maximalkräfte wurden mit den Grenzwerten der Norm EN 60601-2-52: 2016-04 (IEC 60601-2-52:2009) verglichen. Demnach darf die Anfahrkraft 160 N und die Bewegungserhaltungskraft 85 N nicht überschreiten. Die Maximalkräfte wurden dem Grenzwert von 160 N, die mittleren Kräfte dem Grenzwert von 85 N gegenübergestellt.

Die Maximal- und Mittelwerte der Handkräfte wurden mittels Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft (Signifikanzniveau: $\alpha = 0{,}05$). Anschließend erfolgte ein t-Test für verbundene Stichproben oder ein nichtparametrischer Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test (ebenfalls $\alpha = 0{,}05$).

3. Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt die über alle Versuchspersonen gemittelten maximalen und mittleren Aktionskräfte, aufgeteilt nach den untersuchten Intervallen des Parcours. Mit Ausnahme der Intervalle *Notbremsung*, *Schieben -7 % Rampe* und *Rechtskurve und Stopp* reduzierte die motorisierte Rolle die maximalen Aktionskräfte in den übrigen zehn Intervallen signifikant ($p < 0{,}05$). Eine signifikante Reduktion der mittleren Kräfte wurde bis auf das Intervall *Rollphase* in allen Intervallen gemessen ($p < 0{,}05$).

Die stärksten Reduktionen traten in den Rampenintervallen auf: Beim Hinaufschieben der 7 %-Rampe sank die maximale Handkraft durch den Einsatz der motorisierten Rolle um 33 %, in der Startphase der 3,5 %-Rampe sank die mittlere Handkraft um 45 %.

In Rechtskurven fiel die Reduktion der maximalen und mittleren Aktionskräfte stärker aus (-22 %, -18 %) als in Linkskurven (-12 %, -11 %). Über alle Intervalle hinweg betrachtet, führte die motorisierte Unterstützung zu einer durchschnittlichen Reduktion der maximalen Kräfte um 16 % und der mittleren Kräfte um 22 %.

Der Vergleich der fünf Intervallabschnitte (1, 5, 6, 7, 10), in denen das Krankenhausbett aus dem Stillstand heraus beschleunigt wurde, mit dem in der Norm EN 60601-2-52:2016-04 festgelegten Grenzwert von 160 N zeigt, dass dieser sowohl beim manuellen Schieben als auch mit motorisierter Unterstützung in allen Fällen überschritten wurde.

Im Gegensatz dazu wurde der Grenzwert für die zur Aufrechterhaltung der Bewegung erforderliche Kraft (85 N) deutlich seltener überschritten: Beim manuellen

Schieben in 8 von 13 Intervallen, bei motorisierter Unterstützung lediglich in 3 Intervallen.

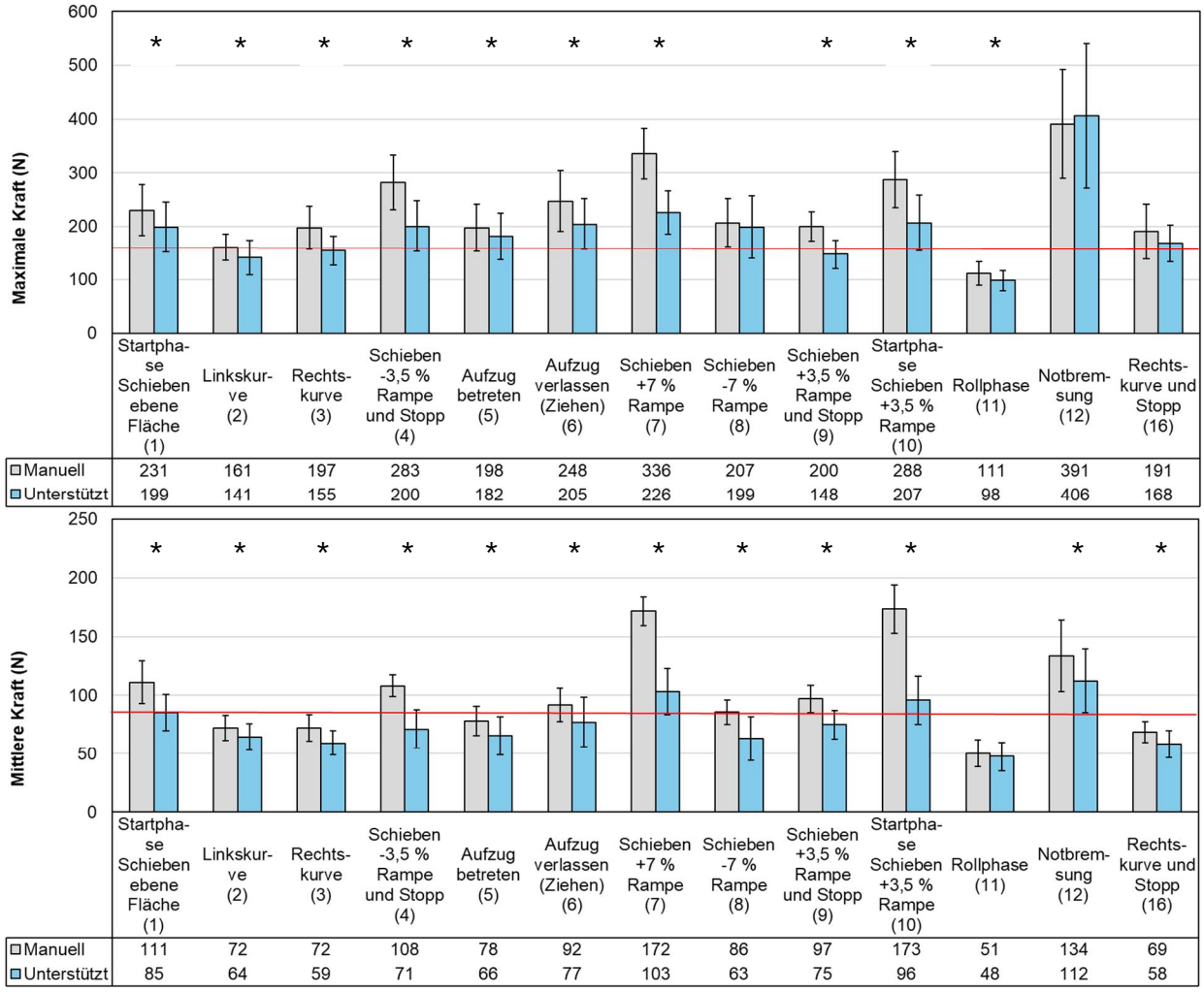


***Abbildung 2**: Vergleich der gemittelten Maximal- (oben) und Mittelkräfte (unten) über die Intervallabschnitte. Graue Balken: manuelles Schieben; blaue Balken: motorisierte Unterstützung. * kennzeichnet signifikante Unterschiede ($p < .05$). Rote Linien: Grenzwerte nach EN 60601-2-52:2016-04; oben: 160 N für die Beschleunigungsphase des Betts; unten: 85 N für die Aufrechterhaltung der Bewegung.*

4. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass die motorisierte Rolle die Handkräfte signifikant reduzierte. Besonders stark war die Entlastung in den Rampenintervallen, mit Reduktionen von bis zu 45 %.

Ein Abgleich mit der Norm EN 60601-2-52:2016-04 zeigt, dass der Grenzwert von 160 N für das Beschleunigen eines Betts aus dem Stand in allen relevanten Intervallen (1, 5, 6, 7, 10) überschritten wurde, sowohl mit als auch ohne motorisierte Unterstützung. Eine Unterschreitung dieses Grenzwerts wäre nur durch eine stärkere Unterstützung der motorisierten Rolle oder durch ein deutlich langsameres Anfahren der Pflegekräfte möglich. Da die motorisierte Rolle seitlich am Fußende montiert ist, würde eine stärkere motorisierte Unterstützung dazu führen, dass das Bett stärker in

eine Richtung zieht. Bereits mit der derzeitigen Unterstützung war dieser Effekt messbar. Das Bett zog beim Geradeausfahren leicht nach rechts. Eine weitere Verstärkung der Antriebskraft könnte die Manövrierbarkeit stärker beeinträchtigen.
Eine alternative Lösung bestünde in der zentralen Platzierung der motorisierten Rolle als „fünfte Rolle“ unter dem Bett. Die Studie von Matz & Morgen (2018) zeigt, dass eine mittig platzierte motorisierte Rolle Entlastungen bis zu 60 % bewirken können. In der hier durchgeführten Studie betrug die Entlastung auf Rampen durch die motorisierte Rolle maximal 45 %. Da die meisten derzeit eingesetzten Krankenhausbetten keine fünfte Rolle besitzen, ist eine nachträgliche Ausrüstung an dieser Position jedoch nur mit hohem Aufwand möglich.

Die vorliegende Studie weist mehrere Limitationen auf. Die Gehgeschwindigkeit wurde nicht standardisiert. Zudem wurde nur ein Bettmodell verwendet, und die motorisierte Rolle wurde nicht unter verschiedenen Beladungsbedingungen getestet.

Während des gesamten Versuchs mussten die Teilnehmenden die Handkraftmessgriffe durchgehend festhalten. Dieses Vorgehen entspricht nicht allen realen Fahrsituationen. Unterschiedliche Schuhe der Versuchsteilnehmer können zu variierenden Reibwerten zwischen Schuhsohle und Boden führen.

Die Untersuchung konzentrierte sich auf kurzzeitige Belastungsreduktionen. Eine Erhebung der Aktionskräfte über eine vollständige Arbeitsschicht hinweg könnte künftig ein umfassenderes Bild der tatsächlichen Gesamtarbeitsbelastung ermöglichen.

5. Literatur

Ando S, Ono Y, Shimaoka M, Hiruta S, Hattori Y, Hori F, Takeuchi Y (2000) Associations of self estimated workloads with musculoskeletal symptoms among hospital nurses. Occupational & Environmental Medicine 57(3):211. https://doi.org/10.1136/oem.57.3.211.

Brütting M, Hermanns I, Nienhaus A, Ellegast R (2017) Muskel-Skelett-Belastungen beim Schieben und Ziehen von Krankenbetten und Rollstühlen. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 67(2):64–77. https://doi.org/10.1007/s40664-016-0150-4.

Davis KG, Kotowski SE (2015) Prevalence of musculoskeletal disorders for nurses in hospitals, long-term care facilities, and home health care: A comprehensive review. Human Factors 57(5):754–792. https://doi.org/10.1177/0018720815581933.

DIN EN 60601-2-52 (2016) Medical electrical equipment - Part 2-52: Particular requirements for the basic safety and essential performance of medical beds. DIN Deutsches Institut für Normung.

Fischer B, Sedlmeier AM, Hartwig S, Schlett CL, Ahrens W, Bamberg F, Baurecht H, Becher H, Berger K, Binder H (2020) Anthropometrische Messungen in der NAKO Gesundheitsstudie – mehr als nur Größe und Gewicht. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 63(3):290–300. https://doi.org/10.1007/s00103-020-03096-w.

Matz M, Morgan J (2018) The case for powered bed transport (Whitepaper) (abgerufen am 07.01.2026).

Poole Wilson T, Davis KG, Kotowski SE, Daraiseh N (2015) Quantification of patient and equipment handling for nurses through direct observation and subjective perceptions. Advances in Nursing 2015. https://doi.org/10.1155/2015/928538.

Wiggermann N (2017) Effect of a powered drive on pushing and pulling forces when transporting bariatric hospital beds. Applied Ergonomics 58:59–65. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.05.015.

Zhou J, Wiggermann N (2017) Ergonomic evaluation of brake pedal and push handle locations on hospital beds. Applied Ergonomics 60:305–312. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.12.012.

Validierung der aeroakustischen Lärmexposition beim Motorradfahren durch Kombination von Prandtlsonden-gestützten Strömungsanalysen im Windkanal und im Freifeld

Daniel SCHOLL, Karsten KLUTH

Fachgebiet Arbeitswissenschaft / Ergonomie, Universität Siegen
Paul-Bonatz-Straße 9-11, D-57068 Siegen

Kurzfassung: Motorradfahrer sind hohen Schalldruckpegeln (bis zu 115 dB bei 130 km/h) ausgesetzt. Um die Situation einordnen zu können, werden ab etwa 70 km/h Grenzwerte der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung überschritten. Während Pegelmessungen im Freifeld aufgrund von Motor- und Reifengeräuschen tendenziell 3-4 dB höher ausfallen als Windkanalmessungen, zeigen die Pegel nach Filterung mittels A-Filter eine akkurate Überdeckung und können als repräsentativ angenommen werden. Dies liegt vermutlich an der Herabsenkung der tiefen Frequenzen, welche vom Motor und den Reifen ausgeht.
Der Windkanal ist somit zur Simplifizierung von Probandentests für spätere Studien geeignet und ermöglicht das Testen unter geringem Risiko. Hinterfragt werden sollte allerdings die Auswertung mit der A-Bewertung, da diese die realistische Last bei hohen Lautstärken im tieffrequenten Bereich häufig unterschätzt.

Schlüsselwörter: Motorradhelm, Gehörgangschallpegel, Aeroakustik, Windkanal, Prandtlsonde, Freifeldmessung

1. Einleitung

Während der Fahrt sind Motorradfahrer einer überdurchschnittlich hohen Lautstärkebelastung ausgesetzt, die nicht zwangsläufig vom Antriebsstrang oder den Reifengeräuschen ausgeht, sondern zu einem großen Teil durch aeroakustische Ereignisse um den Fahrer, die Maschine und vor allem den Helm herum induziert wird (Kennedy et al. 2011). Messungen in den 1990er-Jahren zeigten bereits die übermäßig hohen Lautstärkepegel unterhalb eines Motorradhelmes, welche die Grenzwerte von Lautstärken an (Industrie-)Arbeitsplätzen zu jener Zeit teilweise überschritten (Lower et al. 1994). In der damaligen Untersuchung wurden bei bereits moderaten Geschwindigkeiten, welche dem Äquivalent einer Stadtfahrt entsprachen, Pegel um 90 dB(A) gemessen. Mit zunehmender Geschwindigkeit nahmen die registrierten Pegel zu, sodass bei hohen Geschwindigkeiten Spitzenpegel von bis zu 116 dB(A) im Gehörgang registriert werden konnten (Lower et al. 1994). Bestätigt wurden ähnlich hohe Lautstärkepegel in aktuelleren Messungen durch Kennedy et al. (2013).

In der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (Bundesministerium für Arbeit und Soziales 2007) wurden aktuelle regulatorische Rahmenbedingungen für die Schallbelastung am Arbeitsplatz geschaffen. Die Verordnung legt einen oberen und unteren Auslösewert von 80 dB(A) bzw. 85 dB(A) über 8 Stunden fest sowie einen Expositionsgrenzwert von 87 dB(A) bei Verwendung und Berücksichtigung eines Gehörschutzes. Übertragen auf die zuvor angeführte Schallsituation beim Motorrad-

fahren wären somit aus Sicht des Arbeitsschutzes bei ausreichender Expositionsdauer bereits sowohl technische als auch organisatorische Schutzmaßnahmen notwendig. Vor diesem Hintergrund stellt sich somit die Frage: Wie stark wirkt sich die Lautstärkensituation beim Motorradfahren tatsächlich auf das menschliche Gehör aus?

Eine besondere Problematik stellt hierbei nicht nur die langfristige Lärmexposition dar, sondern auch kurzfristige Hörbeeinträchtigungen, welche in Form einer temporären Hörschwellenverschiebung (TTS) auftreten. Definiert ist die TTS als kurzfristige Minderung der Hörfähigkeit, meist in einem bestimmten Frequenzbereich, in Abhängigkeit der Expositionsdosis durch Schall (Hicks 1972). Untersuchungen von Hicks (1972) konnten nachweisen, dass allein der Fahrtwind, ohne die Einflussnahme anderer Fahrgeräusch von Motor oder Reifen, eine höhere TTS auslöst als der Motor alleine. McCombe et al. (1995) konnten zudem den primären Vertäubungsfrequenzbereich auf über 1 kHz festlegen, d.h. einen Bereich, in welchem Menschen besonders sensibel hören. Daraus lässt sich die Vermutung herleiten, dass dieser Bereich auch für die Wahrnehmung von Verkehrssituationen von großer Bedeutung ist.

Anhand einer streng gescreenten Kohorte von rund 240 Motorradfahrern zeigten McCombe et al. (1995), dass diese einen signifikant höheren Hörverlust aufwiesen als eine altersangepasste Kontrollgruppe. Gefunden wurden auch signifikante TTS-Ausprägungen. Die Studie liefert somit wichtige Evidenz, dass eine wiederholte TTS durchaus ein Indikator für einen permanenten Hörschaden beim Motorradfahren darstellt.

Eine wichtige Voraussetzung bei der Auswertung der Expositionsdaten ist dabei die Anwendung einer korrekten Messmethode zur Erfassung der Strömungsgeschwindigkeiten am Helm. Bisherige Feldstudien, welche bei realen Fahrversuchen durchgeführt wurden, stellten die gemessenen Gesamtpegel im Gehörgang lediglich in Korrelation zu der Tachogeschwindigkeit, der GPS-Geschwindigkeit oder Variationen der Motorrad- oder Helmkonfiguration dar, während der eigentlich interessante Expositionsparameter, die Luftgeschwindigkeit, im Freifeld meist indirekt über die GPS-Geschwindigkeit hergeleitet wurde. Um aussagekräftige Ergebnisse unter Realbedingungen zu erhalten, ist die lokale Strömungsgeschwindigkeit am Helm unverzichtbar, da sie aufgrund von Rücken- und Gegenwind, Windschatten und Fahrzeugumströmungen stark von der Fahrgeschwindigkeit abweichen kann. Direkte Messungen der lokalen Strömungsgeschwindigkeiten wurden bislang, soweit ersichtlich, während der Fahrt nicht durchgeführt, woraus sich schließen lässt, dass der Zusammenhang zwischen der resultierenden Gesamtlautstärke im Gehörgang und der Anregung durch das aeroakustische Ereignis bislang nur approximiert beschrieben und dargestellt werden konnte. Um diese Lücke zu schließen, wurden in dieser Untersuchung im Freifeld Messungen auf einem Motorrad durchgeführt und zeitgleich wurde der Schalldruckpegel im Gehörgang gemessen, während die Luftgeschwindigkeit mit einer Prandtlsonde aufgezeichnet wurde. Um die Ergebnisse zu validieren, werden die Versuche möglichst originalgetreu im Windkanal der Universität Siegen nachgestellt und miteinander verglichen. Die Ergebnisse dienen der Planung späterer Studien, welche sich mit der Ausprägung von TTS beim Menschen unter Windlasten auseinandersetzt.

2. Methodik

Für die Untersuchung wurden zwei Versuchsreihen durchgeführt. Zum einen wurden Messungen auf dem Flugplatz in Meschede repräsentativ im Freifeld durchgeführt, und diese mit Messungen im Windkanal der Universität Siegen gegenübergestellt. Die Konfiguration der beiden Messaufbauten wurde möglichst identisch konfiguriert, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Für die Freifeld-Messungen wurde die Landebahn des Flugplatzes in Meschede als Teststrecke ausgewählt. Die Bahn bietet eine 1 km lange, unbebaute Strecke, auf welcher hohe Geschwindigkeiten mit geringem Risiko vermessen und getestet werden können, ohne Störgrößen durch Reflexionsflächen oder Geräuschen ausgesetzt zu sein.

Für die Versuche wurde ein serienmäßiges, unverkleidetes Motorrad des Typs Suzuki GSX-8S verwendet, um mögliche Einflüsse von Verkleidung und Scheibe auszuschließen. Lediglich eine Modifikation des Soziussitzes war notwendig, um eine Prandtlsonde zu montieren. Die korrekte Höhe wurde durch Vorversuche so eingestellt, dass sich diese stets innerhalb der freien Anströmung sowie außerhalb des Nachlaufs des Helms befand. Nur so konnten Einflüsse der Wirbelschleppe ausgeschlossen werden. Die modifizierte Maschine ist der Abbildung 1 (links) zu entnehmen.

Der Proband wurde vollständig mit Motorradschutzkleidung ausgestattet. Diese umfasst Jacke, Hose, Stiefel, Handschuhe und einen Helm des Typs HJC RPHA 70. Modifikationen am Helm oder der Schutzkleidung wurden nicht vorgenommen. Um den Schalldruckpegel im Gehörgang erfassen zu können, wurde dem Probanden ein Gehörgangsmikrofon des Herstellers Svantek mit der Bezeichnung SV 102+ in das linke Ohr gesetzt. Dieses wurde mit einem Kalibrator auf 94 dB re 20 µPa bei 1 kHz kalibriert. Als Datenformat wurden WAV-Dateien (48 kHz/16 Bit) gespeichert, welche im späteren Post-Processing gefiltert, geschnitten und bearbeitet wurden. Die Positionierung des Mikrofons ist der Abbildung 1 (rechts) zu entnehmen.

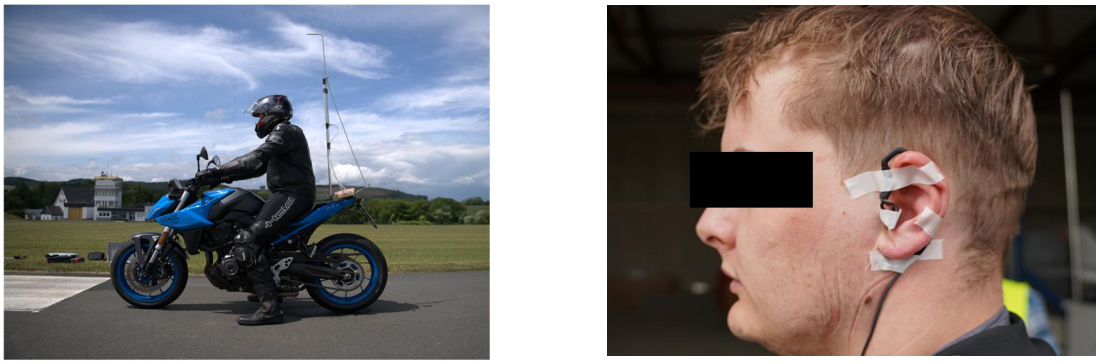


***Abbildung 1**: Modifiziertes Versuchsmotorrad (links) und Position des Gehörgangmikrofons (rechts).*

Die mithilfe der Prandtlsonde ermittelten Druckdifferenzen der Luft wurden mit einem Testo 440 dP geloggt. Die GPS-Daten wurden mit einem Android-Smartphone mit der Open-Source-App “GPS Logger” von “BasicAirData” gesammelt. Gefilmt wurde der Versuch mit einer GoPro Hero 7 Black auf einem Stativ am Rande der Fahrbahn. Bei Beginn der Fahrt wurde sowohl die Windrichtung mit einem Handanemometer und einer Windfahne als auch die Umgebungstemperatur mit einem Testo-Temperaturmessgerät geprüft. So sollte zum einen die Windrichtung validiert werden, zum anderen das Auftreten von Böen während der Messung ausgeschlossen werden.

Gefahren wurde nur bei annähend parallelem Verlauf der Windrichtung zur Fahrbahn. Die Temperatur konnte später für die Bestimmung der Luftgeschwindigkeit verwendet werden.

Die Versuche im Windkanal wurden mit einem Göttinger-Windkanal unter Hinzunahme des exakt gleichen Motorrades durchgeführt. Die Sitzposition wurde mit einer Livevorschau durch eine GoPro sichergestellt. Über das Livebild wurde eine Silhouette von dem Probanden und dem Motorrad aus den Freifeldmessungen während der Fahrt gelegt. So können im Nachhinein Abweichungen nachvollzogen werden. Im Versuch wurden Geschwindigkeiten von 30-150 km/h (aufsteigend in 10-km/h-Schritten) vermessen. Jedes Messintervall wurde für 20 Sekunden gehalten. Für die Auswertung wurden die Schallpegel über ein Auswertefenster von 10 Sekunden durchgeführt. Die Luft im Windkanal wurde auf eine konstante Temperatur von 20 °C temperiert, um Dichteunterschiede in der Luft zu minimieren. Motorrad, Schutzkleidung, Proband und Modifikationen waren identisch. Ein exemplarischer Aufbau ist der Abbildung 2 zu entnehmen.

***Abbildung 2**: Exemplarischer Versuchsaufbau im Windkanal.*

3. Ergebnisse

3.1 Schalldruckpegel in Abhängigkeit der Luftgeschwindigkeit auf dem Freifeld

Die Messungen im Freifeld zeigen eine klare progressive Zunahme des Schalldruckpegels in Abhängigkeit der lokalen Luftgeschwindigkeit. Für die Auswertung wurden zum einen die unbewerteten als auch die A-bewerteten Pegel herangezogen, um die akustische Belastung menschengerecht darzustellen.

Bereits bei Geschwindigkeiten von 50 km/h liegen gemessene unbewertete Werte von über 100 dB vor. A-bewertet liegen hier Werte von ca. 75 dB(A) vor und sind weitestgehend unkritisch. Bereits ab etwa 70 km/h werden mit 85 dB(A) Werte erreicht, welche bei ausreichender Expositionsdauer (Berufsfahrer, Tourenfahrer) laut Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung den gesundheitskritischen Bereich erreichen und somit als gehörgefährdend einzustufen sind. Mit zunehmender Luftgeschwindigkeit wird zudem der Tagesexpositionsgrenzwert schneller erreicht.

Durch die Anwendung des A-Filters und die damit einhergehenden Abschwächungen starker tieffrequenter Anteile im Messgeräusch, waren deutlich niedrigere Expositionswerte zu erwarten.

***Tabelle 1**: Schalldruckpegel im Gehörgang in verschiedenen Luftgeschwindigkeitsbereichen auf dem Freifeld (unbewertet und A-bewertet).*

Luftgeschwindigkeit	Unbewertet	A-bewertet
50 – 100 km/h	ca. 100 – 110 dB	ca. 77 – 90 dB(A)
100 – 130 km/h	ca. 110 – 113 dB	ca. 90 – 95 dB(A)
130 – 150 km/	ca. 113 – 115 dB	ca. 95 – 98 dB(A)
150 – 180 km/h	ca. 115 – 120 dB	ca. 98 – 101 dB(A)

Der Anstieg des Schalldruckpegels mit der Geschwindigkeit kann als annähend linear betrachtet werden, wobei der Bereich unterhalb von 50 km/h nicht in die Betrachtung mit einbezogen werden sollte. Grund hierfür sind die vermutlich hohen Einflüsse des Motors und der Reifenabrollgeräusche.

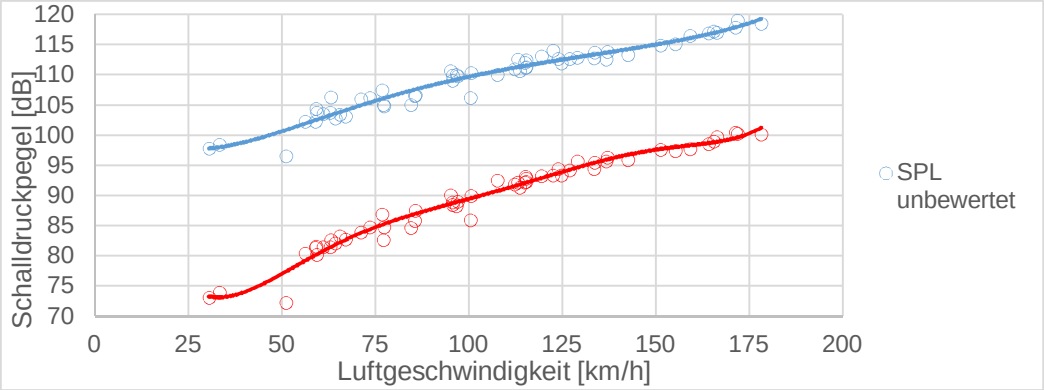


***Abbildung 3**: Gemittelter Schalldruckpegel im Gehörgang bei unterschiedlichen Luftgeschwindigkeiten auf dem Freifeld.*

3.2 Vergleich der Schalldruckpegel auf dem Freifeld und im Windkanal

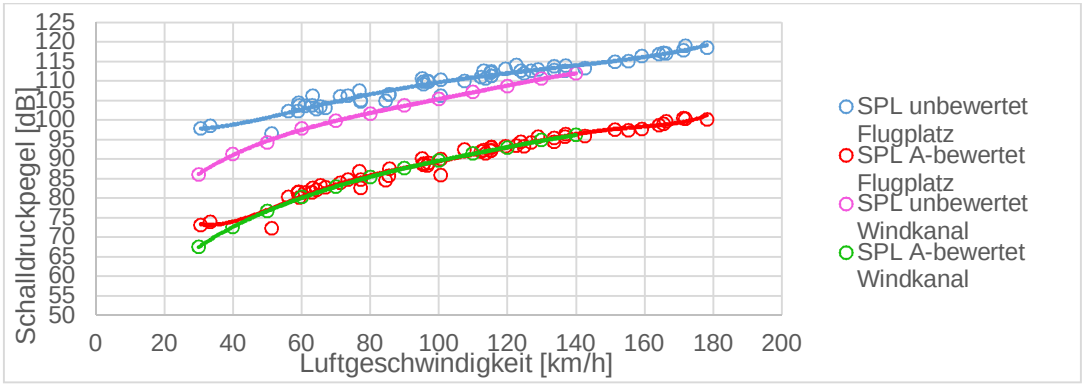


***Abbildung 4**: Gemittelter Schalldruckpegel im Gehörgang bei unterschiedlichen Luftgeschwindigkeiten im Vergleich zwischen Freifeld und Windkanal.*

Die Ergebnisse im Windkanal decken sich mit sehr geringen Abweichungen mit denen der Freifeld-Messungen. Die unbewerteten Pegel weisen ab 60 km/h eine Abweichung von etwa 4 dB auf. Diese wird jedoch insbesondere im hohen Geschwindigkeitsbereich von etwa 120 km/h deutlich kleiner und liegt unterhalb von 3 dB. Durch die Filterung mit dem A-Filter wird die Differenz beider Kurven nahezu Null. Die Kurven liegen bei einer Geschwindigkeit von 40 km/h direkt übereinander. Dies

liegt vermutlich daran, dass der A-Filter die dominanten Frequenzen des Motors und der Reifen stark dämpft.

4. Diskussion

Die Untersuchung zeigt eine hohe Übereinstimmung der Freifeld- und Windkanalmessungen, insbesondere nach Filterung der Ergebnisse mit dem A-Filter, welcher für den Bezug auf das menschliche Gehör essenziell ist. Die unbewerteten Freifeldmessungen fallen tendenziell etwas höher aus, was an den vorhandenen Motor und Reifengeräuschen, wie auch den unkontrollierten Turbulenzen und nicht vorhandenen Laborbedingungen liegen könnte. Die Motor- und Reifengeräusche werden durch den A-Filter weniger dominant in die Bilanz mit einbezogen, weshalb die Kurven nahezu identisch ausschauen.

Eine wichtige Kernaussage dieser Untersuchung ist, dass die Ergebnisse im Windkanal die Messungen im Freifeld ausreichend gut repräsentieren und dadurch zukünftige Versuche mit Probanden, welche andernfalls im Freifeld durchgeführt werden müssten, nun im Windkanal unter sicheren und kontrollierten Bedingungen stattfinden können. Untersucht werden soll die Auswirkung unterschiedlicher Windgeräusche unter einem Motorradhelm, unter realistischen Fahrbedingungen hinsichtlich der Ausprägung der TTS, wie auch dessen Regression.

Lediglich die Auswertemethode sollte hinterfragt werden. Der A-Filter ist gerade für die Bewertung von tieffrequenten Geräuschen in hohen Lautstärkebereichen ungeeignet. Die C-Bewertung spiegelt die tatsächliche energetische Last deutlich realistischer für das menschliche Gehör wider. Grund hierfür ist die Verschiebung des Hörempfindens des Menschen mit zunehmender Lautstärke im tiefen Frequenzbereich. Die Filter sind an die Phon-Linien (Gleichlautheitskurven) angelehnt. Mit zunehmender Lautstärke wirken sich tiefe Frequenzen sensibler auf das menschliche Gehör aus, was durch den C-Filter ansatzweise über eine geringere Dämpfung im niedrigen Frequenzbereich dargestellt wird. Dies ist wichtig, da andernfalls die tatsächliche Last unterschätzt wird. Daraus lässt sich vermuten, dass die tatsächlich wirkende Last in den hier angeführten Ergebnissen deutlich höher ist als bisher angenommen.

5. Literatur

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) (2007) Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (LärmVibrationsArbSchV). BGBI. I:261.

Hicks A (1972) An Investigation of Temporary Threshold Shift Among Helmeted Motorcycle Riders. Dissertations and Theses, Portland State University. DOI: 10.15760/etd.1566.

Kennedy J, Adetifa O, Carley M, Holt N, Walker I (2011) Aeroacoustic sources of motorcycle helmet noise. J Acoust Soc Am 130(3):1164–1172. DOI: 10.1121/1.3621097.

Kennedy J, Carley M, Walker I, Holt N (2013) On-road and wind-tunnel measurement of motorcycle helmet noise. J Acoust Soc Am 134(3):2004–2010. DOI: 10.1121/1.4817913.

Lower MC, Hurst DW, Claughton AR, Thomas A (1994) Sources and levels of noise under motorcyclists' helmets. Proc I O A 16 Pt 2:319-325.

McCombe AW, Binnington J, Davis A, Spencer H (1995) Hearing loss and motorcyclists. J Laryngol Otol 109:599–604. DOI: 10.1017/S0022215100130828.

Autorenverzeichnis

ADAM, Stefan; 240
ADRIAN, Benjamin; 365
AHMADI, Mojtaba; 270
ALTEPOST, Andrea; 533; 914; 926; 1020
ALTUN, Ufuk; 651
ARLING, Viktoria; 737; 990
ARMBRÜSTER, Silvio; 209
ATAKLI-AHMED, Ilknur; 689
BACKHAUS, Claus; 1130
BACKHAUS, Nils; 635; 640
BAU, Michael; 533; 914; 926; 1020
BECKE, Guido; 961
BECKER, Luca; 593
BEINHAUER, Wolfgang; 713
BEN TOURKIA, Mohamed Amin; 246
BENGLER, Klaus; 465
BERG, Holger; 1050
BERLIN, Florian; 629
BEUTENMÜLLER, Frank; 203
BEYRIES, Sylvie; 25
BIERMANN, Nick; 471
BINIOK, Peter; 168
BITTER-KRAHE, Jan; 1050
BLAUDSZUN-LAHM, Annette; 773
BLEISTEIN, Thomas; 666
BOLA, Alina; 1130
BÖRNER, Lars Christian; 66
BOROWSKI, Esther; 341; 581; 1032
BÖSEHANS, Gustav; 288; 347
BÖTTGER, Claudia; 611
BOUSCHERY, Sebastian; 1050
BRAUNMILLER, Linn; 203
BREMS, Alessa; 845
BRÖDE, Peter; 898
BROMBACH, Johannes; 908
BRUNNER, Oliver; 258; 599; 1050
BUNSE, Eric; 31
BURCHARD, Lukas; 95; 996
BURGERT, Florens; 1050
BUROVA-KEßLER, Kristina; 234; 359
BURUCK, Gabriele; 107
BUSARELLO, Lou; 943
CAMPBELL, Jamie-Lee; 870
CHEN, Chen; 489
CHEN, Hsieh-Ching; 405
CHEN, Kuang-Jou; 215
CHEN, Shih-Wei; 405
CHIU, Min-Chi; 761
CHU, Chih-Hsing; 215
Claudia VUONG, Thu Ha; 1056
CLEMENS, Patrick; 661
CÜCEOGLU, Ercan; 186
CZAK, Stella; 347
DANHAUSEN, Paula; 174
DAVID, Magnus; 300
DE LOMBAERT, Thomas; 133
DEML, Barbara; 276
DICK, Michael; 755; 815
DIESTEL, Stefan; 932
DIETRICH, Fabian; 101; 107
DÖBLER, Marie-Kristin; 43
DOMMERMUTH, Maximilian; 683
DÖRFLINGER, Nadja; 803
DROST, Daniela; 192
DUCKWITZ, Sönke; 949
DWORSCHAK, Bernd; 701
ECKARDT, Robert; 101
EIERDANZ, Frank; 587; 839
EKER, Alper; 551; 563
ELLEGAST, Rolf; 522; 985
ELZE, Ariana; 246
ENGEL, Lutz; 306
ENTGELMEIER, Ines; 640
ERLEBACH, Rebecca; 388
ESSER, Janine; 932

FAES, Matthias; 874
FECKE, Marina; 1050
FEGGELER, Andreas; 329
FEGGELER, Nils; 329; 617; 622
FEIGL, Sarah; 1107
FELDMANN, Florian; 932
FERREIN, Alexander; 186
FETTER, David; 376
FINDEISEN, Stefanie; 353
FISCHER, Sandro; 107
FREITAG, Daniel; 672
FRITSCH, Fabian; 851; 1026
FRITZINGER, Carolin; 587
FRÖHLICH, Patrik; 932
FRONCZEK, Simon; 111; 150; 749
FUCHS, Lukas; 264
FUCHS-FROHNHOFEN, Paul; 192
GAMBER, Thilo; 695
GANßAUGE, Rico; 95
GEBERT, Moritz; 417
GEISTER, Susanne; 920
GELIEV, Anna; 156; 605
GERDES, Lisa; 306
GERLMAIER, Anja; 324
GERTEN, Martin; 382
GEWALT, Michelle; 252
GEWISSEN, Mathias; 453
GIERKE, Lea; 557
GLATZ, Andreas; 725
GLITZA, Rene; 593
GOLDHAHN, Leif; 78; 101
GOPPOLD, Marvin; 695; 949
GOROVOJ, Alexander; 60
GRAF-PFOHL, Claudia; 111
GRANICA, Amina; 123
GRÄßLER, Max; 107
GREEN, Dominik; 365
GREIS, Franziska; 569
GRENZEBACH, Jan; 209
GRÖLLICH, Daniel; 892
GROSSE, Eric H.; 133
GRUBER, Falk; 78; 101
GRUß, Sarah; 84
GUHLEMANN, Kerstin; 72
GÜHNE, Michael; 90
GÜNTHER, Felix; 743; 1118
GÜNTHER, Till; 312
GUTKAS, Rebecca; 575
HAASE, Florian; 246
HAILU, Timon; 31
HALTER, Maleen; 845
HALWAß, Robert; 376
HANAU, Eva; 347; 611; 617; 622
HANNAK, Julius; 162
HANSEN-AMPAH, Adjan; 156; 605; 914; 1020
HARLACHER, Markus; 288; 329; 335; 611; 617; 622
HARTMANN, Ulrich; 495
HARTMANN, Veit; 651
HARTUNG, Peter; 779
HARTUNG, Stephanie; 66; 69
HEIMANN, Lion; 107
HEIN, Philipp; 435
HEINI, Lukas; 228
HEINLEIN, Michael; 43
HEIN-PENSEL, Franziska; 1002
HEINS, Sarah; 192
HEINZEL, Lea; 1068
HELLGE, Viola; 587; 689; 839
HELLWIG, Runa T.; 898
HEMMING, Gordon; 661
HERFS, Werner; 197
HERMANN, Marie Luise; 937
HERRMANN, Jan-Phillip; 300; 949
HERWIG, Hannes; 123
HINRICHER, Niels; 1130
HINRICHSEN, Sven; 365
HOBERG, Anna; 1014
HOFFMANN, Michael; 382
HOFMANN, Josephine; 1014
HOLLSTEIN, Kirsten; 851; 1101
HÖLZLE, Katharina; 701

HUCHLER, Norbert; 43
HÜNEFELD, Lena; 551; 563; 767
HUNG, Shin-Min; 761
IBENTHAL, Elisabeth; 522
IKEDA, Hiroyasu; 785
IMBSWEILER, Jonas; 791
IOVITA, Radu; 25
ISENHARDT, Ingrid; 341; 581; 1032
JANITZKY, Jamila; 821
JANSEN, Anne; 429; 943
JENKEL, Sophia; 937
JENNER, Matthias; 312
JENTSCH, Marina; 731
JESKE, Tim; 719
JIANG, Ying-Hao; 761
JURECIC, Mitja; 979
KABOTH, Arthur; 767
KAEVER, Domenik; 37
KAHL, Björn; 394
KARAPIDIS, Alexander; 701
KAUFMANN, Marikje; 864; 1080
KAUFMANN, Mirko; 495
KAVOUSIAN, Bijan; 197
KEIM, Oliver; 587; 839
KEITEL, David; 186
KELSCHEBACH, Sarah; 101
KICK, Elena; 557
KINKEL, Steffen; 228; 557
KINNE, Semhar; 471
KIRCHHEIM, Alice; 133
KIRSCHALL, Sonja; 72
KLASMEIER, Kai; 803
KLEEMANN, Frank; 967
KLUGE, Annette; 821
KLUTH, Karsten; 423; 886; 1136
KLUY, Lina; 276
KNAUP, Helena; 174
KNICKMEIER, Daniel; 501
KNISPEL, Jens; 737; 990
KNOCH, Sönke; 731
KOCKROW, Roberto; 95; 101
KOLBE, Georg; 533
KOMOROWSKA, Malgorzata; 666
KOMOROWSKI, Tim; 318
KOONEN, Anja; 1032
KOPP, Tobias; 222; 228; 557
KOPPE, Annika; 809
KÖTTER, Julius; 640
KRAMER, Paul Fiete; 324
KRANZ, Tim; 864; 1113
KRETSCHMER, Veronika; 133; 471
KRÖLL, Martin; 234; 359
KUBEK, Vanessa; 1044
KUCHENBECKER, Sophie; 341
KUHLANG, Peter; 459
KÜHLEWIND, Niklas; 123
KUHLMANN, Martin; 1038
KUHN, Jonas; 581
KUHN, Leonie; 701
KUMBRUCK, Christel; 809
LANG, Stefan; 282
LANGER, Ferdinand; 483
LANGHOLF, Valentin; 593
LATOS, Benedikt; 49
LAURENZANO, Adriana; 979
LAUTERMANN, Christian; 677
LAYER, Selina; 203
LENNINGS, Frank; 288
LENZ, Dominik; 932
LEONTARIS, Timo; 967
LINK, Jennifer; 335
LINNER, Thomas; 399
LOEBER, Jannik; 666
LOHMANN-HAISLAH, Andrea; 656
LÜCK, Marcel; 767
LUDEWIG, Hendrik; 1130
LUNGFIEL, Andy; 797
LÜTTGENS, Dirk; 1050
LUX, Sophia; 1068
MAI, Jan-Philipp; 246
MAIER, Thomas; 264; 483
MANNOTT, Tammo; 1038

MARKUS, Antonia; 341; 581; 1032
MARRENBACH, Dirk; 353
MARSCHNER, Florian; 874
MARTIN, Dominik; 1050
MARTIN, Natalie; 222; 228; 557
MARTIN, Rainer; 593
MATEESCU, Magdalena; 707
MATTHIESEN, Sven; 465
MAUFROY, Christophe; 483
MAYRHOFER, Walter; 447
MAZZOLDI, Adrian; 791
MEER, Anna-Maria; 394
MELZER, Marlen; 168
MENON, Carlo; 797
MENOZZI, Marino; 797
MERKEL, Torsten; 107
MERTENS, Alexander; 174; 180; 258; 382; 417; 599; 1008; 1050; 1062
METZLER, Yannick; 851
MIELKE, Tim; 376
MILEWSKI, Ben; 1056
MÖHLENKAMP, Monika; 139
MOHR, Jonas; 731
MORDASCHEW, Viktoria; 49
MORSCH, Katharina; 1085
MOZER, Pia; 701
MÜCKE, Anja; 943
MÜHLBRADT, Thomas; 725
MÜLLER, Rainer; 312
MÜLLER-EPPENDORFER, Katharina; 84
MUSICK, Christin; 892
MÜTZE-NIEWÖHNER, Susanne; 31; 1050
NAUJOKS, Tilman; 713
NAUSCH, Patrick; 107
NEMATI, Amir; 489
NEUMER, Judith; 43
NICK, Alexandra; 276
NICKEL, Peter; 394; 797
NIEBUHR-HAAK, Lorena; 329; 622
NIENHAUS, Albert; 495
NIEUWENBOOM, Wim; 240
NITSCH, Verena; 174; 180; 258; 417; 1008; 1050; 1062
NOLD, Johanna; 640
NOROUZINIA, Farzaneh; 666
NOUDURI, Srikanth; 180
NOWOTNY, Fabian; 755
NUSSBAUM BITRAN, Ilana; 961
OELMUELLER, Ailina; 1124
OHLY, Sandra; 123
OLBERT-BOCK, Sibylle; 1020
OSRANEK, Regina; 773
OSTERMEIER, Manuela; 459
OTT, Gritt; 294
OTTERSBÖCK, Nicole; 719
OYAMA, Hideki; 785
PAETZOLD, Tobias; 123
PANNENBECKERS, Jona; 192
PENTZIEN, Jonas; 677
PERAU, Martin; 1050
PETROVIC, Oliver; 197
PFAFF, Thomas; 84
PFANNENSCHMIDT, Ulrike; 903
PFENNING, Johanna; 689
PFISTER, Jannis; 312
PFLEGING, Johannes; 25
PIECK, Nadine; 845
PIEPER, Birgit; 898
PIETRZYK, Ulrike; 90
PIETSCHMANN, Christina; 84
PILLER, Frank; 1050
PUHL, Alina; 107
PÜTZ, Vivien; 629
QI, Shuaixin; 797
QUENDLER, Elisabeth; 162; 575
RAABE, Kristin; 1068
RACK, Rebecca; 465
RADÜNTZ, Thea; 209
REINING, Nine; 203
REUTER, Milo; 605
RICK, Vera B.; 1008
RIEF, Stefan; 713

RODRIGUEZ, Alice; 25
ROSCHER, Susanne; 371
ROSENSTIEL, Reto; 203
ROUX, Eugénie Gauvrit; 25
RUPPRECHT, Patrick; 447
SADIKU, Romantika; 979
SAFFERT, Anne-Sophie; 399
SAKI, Mehrach; 129; 672
SALMANZADEH, Hamed; 270
SANDERS, Tobias; 441; 749
SANDROCK, Stephan; 506; 827; 833
SAUER, David; 1074
SCHADY, Tristan; 587; 839
SCHÄFER, Katharina; 1008; 1050; 1062
SCHÄFER, Philip Hermann; 174
SCHÄFER, Philip; 599
SCHAUB, Maja; 1062
SCHERB, David; 477; 489
SCHERER, Linda; 661
SCHERSTJANOI, Edgar; 411; 453; 527
SCHIEBL, Jonas; 483
SCHIEDERMAIR, Ina; 222; 228
SCHIEFER, Christoph; 371
SCHIERHORST, Nikolas; 258
SCHIFFER, Carsten; 1008; 1062
SCHIFFER, Stefan; 186
SCHILD, Philipp; 683
SCHMAUDER, Martin; 892
SCHMID, Peter; 264; 483
SCHMIDT, Matthias; 880; 1074
SCHMIDT, Nadine; 955
SCHMUCKER, Rolf; 646
SCHNALZER, Kathrin; 701
SCHNEIDER, Sven; 394
SCHOLL, Daniel; 886; 1136
SCHÖLLGEN, Ina; 656
SCHOLTZ, Oliver; 353
SCHÖNER, Judith; 755; 1097
SCHORR, Angela; 55; 60
SCHRÖDER, Delia; 731; 1044
SCHRÖER, Chris; 1130
SCHUHMANN, Sebastian; 1002
SCHULTE-TIGGES, Joschua; 186
SCHULZ, Anika Daniela; 656
SCHULZE, Hartmut; 240; 707
SCHÜTTE, Martin; 506
SCHWEGLER, Benno; 707
SEEGER, Martin; 791
SEIDEL, Lisa; 955
SEIMETZ, Valentin; 731
SEN, Sumona; 129
SIEFER, Anke; 563
SIEGLE, Daniel; 264
SINOPOLI, Robert; 646
SIVATHEERTHAN, Thushayanthini; 1091
SKLORZ, Kai; 979
SLAVCHOVA, Veneta; 737; 990
SPITZHIRN, Michael; 162; 376; 399; 599
STAHN, Catharina; 827; 833
STEINKELLNER, Harald; 37
STOCK, Patricia; 511
STOWASSER, Sascha; 144; 335
STRÄTER, Oliver; 117; 672; 851; 874; 1026; 1101
STROBL, Eva; 150
STÜRZEBECHER, Pia; 1056
SU, Chia-Hung; 761
SURYA VAMSAM, Vishnu Kiran; 477
SÜßBAUER, Elisabeth; 677
SÜßE, Thomas; 282; 318; 743
SUTSCHET, Susanne; 465
TACKENBERG, Sven; 300; 949
TANNER, Alexandra; 240
TEBORG, Sophie; 551; 563
TEGTMEIER, Patricia; 973
TERPOORTEN, Samira; 815
TIEDEMANN, Norma; 545
TROMMER, Melanie; 150
TRÖSTER, Mark; 483
UHLMANN, Michael; 441

ÜNLÜ, Aydin; 423
VEGNER, Vanessa; 551
VINHOVEN, Lana; 123
VOGEL, Christoph; 429
VOIGT, Bernd-Friedrich; 252
VON GARREL, Jörg; 539
VON GEIBLER, Justus; 932
VOURLAS, Athanasios; 359
WACHHOLZ, Karen; 926
WACKER, Markus; 453
WAGNER, Konstantin; 411; 527
WÄHNERT, Svetlana; 294; 411; 527; 892
WEBER, Britta; 985
WEBER, Jakob; 144
WEBER, Marc-André; 144
WECHSLER, Konstantin; 985
WEHRMANN, Jonas; 803; 821
WEIDNER, Robert; 477; 489
WEISER, Imke; 203
WELTE, Korinna; 483
WENDSCHE, Johannes; 656
WERENS, Samantha; 539
WICHTL, Michael; 517
WIEMERS, Luisa; 123
WILKENS, Uta; 593
WILLEMSEN, Fabian; 31
WIND, Thomas; 857
WINGS, Linda Maria; 133
WINKLER, Lisa-Marie; 111; 441
WISCHNIEWSKI, Sascha; 388; 973
WOLF, Dana; 731
WÖLKE, Mandy; 435
WU, Chao-Yin; 761
YIN, Tong; 411
ZACCARIA, Mara; 713
ZAISER, Helmut; 701
ZEINER-FINK, Susann; 150
ZHANG, Minqi; 133
ZHANG, Xi; 123
ZIESAK, Martin; 258
ZWINGMANN, Bruno; 117