

## Interpretation von Videodaten zur Erstellung von Zeit- und Ergonomiestudien

Steffen JANSING<sup>1</sup>, Daniel BOIAR<sup>1</sup>, Roman MÖHLE<sup>1</sup>, Jochen DEUSE<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Produktionssysteme, Technische Universität Dortmund,  
Leonhard-Euler-Str. 5, D-44227 Dortmund*

<sup>2</sup> *Centre for Advanced Manufacturing (CAM),  
School of Mechanical and Mechatronic Engineering,  
University of Technology Sydney (UTS), Australien*

**Kurzfassung:** Zeitökonomische und ergonomische Analysen bilden die Basis zur Bewertung und Optimierung von Arbeitsplätzen. Das zur Analyse erforderliche Kompetenzniveau sowie der mit der Analyse einhergehende Aufwand stellen jedoch hohe Hemmnisse für die praktische Anwendung dar. Es bedarf daher neuer Ansätze, die bei der Durchführung entsprechender Analysen unterstützen. In Bezug auf Ausführungsanalysen scheinen Ansätze auf Basis von Motion Capturing und Objekterkennung dabei am vielversprechendsten. Der vorliegende Beitrag baut auf einem Ansatz mit ausschließlicher Nutzung von 2D-RGB-Videodaten auf. Es werden die spezifischen Potenziale der Nutzung von Videodaten beschrieben. Mit Modellen zur Kontrollüberahme und Ausprägung von Einflussgrößen werden die wesentlichen Schlüsselemente zur Erstellung zeitökonomischer Studien vorgestellt. Abschließend wird aufgezeigt, welche Herausforderungen in der Nutzung von Videodaten bestehen und wie mit diesen umgegangen werden kann.

**Schlüsselwörter:** Motion Capturing, Bewegungsdaten, Videodaten, Zeitwirtschaft, Ergonomie, Human Work Design

### 1. Motivation

Die effiziente und ergonomische Gestaltung menschlicher Arbeit besitzt eine zentrale Bedeutung zur Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen, besonders angesichts hoher Lohnkosten in Deutschland (Statista 2022). Entsprechend können manuelle Tätigkeiten als Kostentreiber in Produktionsprozessen identifiziert werden und bedürfen einer detaillierten Planung (Scholer 2018). Darüber hinaus führen der demografische Wandel sowie ein gesteigertes Bewusstsein für arbeitsbedingte Erkrankungen zu einem wesentlichen Bedeutungsgewinn der ergonomischen Auslegung von Arbeitssystemen (Schlund et al. 2018).

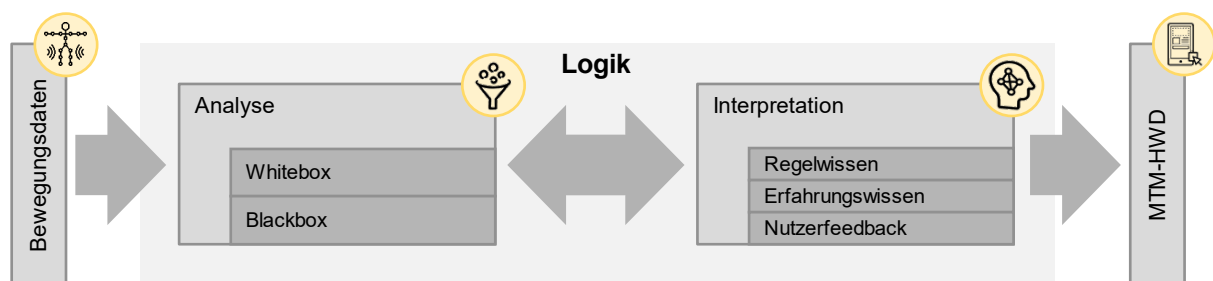
Dabei erfordern sich stetig verkürzten Produktlebenszyklen und eine zugleich steigende Variantenvielfalt eine immer schnellere und detailliertere Planung und Optimierung der Prozesse. Daneben stellen insbesondere für KMU sowohl die erforderliche Qualifikation der Mitarbeiter bei der Analyse sowie der hohe Aufwand bei der Anwendung wesentliche Hemmnisse dar (Deuse und Busch 2012; Lotter 2012). Daher bedarf es neuer Ansätze zur Entlastung der Prozess- und Methodenexperten, um eine Fokussierung auf die Gestaltung und Optimierung zu ermöglichen.

## 2. Stand der Technik

Dem Industrial Engineering (IE) stehen unterschiedliche Analysewerkzeuge zur Entwicklung effizienter Arbeitssysteme zur Verfügung. Ein Beispiel bilden die Systeme vorbestimmter Zeiten zur zeitökonomischen Analyse (Shell 1986). Durch die Beschreibung der Arbeitsabläufe mittels standardisierter Bewegungsinckremente, denen Normzeiten zugeordnet sind, lassen sich prospektiv Prozesse planen sowie Optimierungsmaßnahmen direkt bewerten (Deuse und Busch 2012).

MTM-Human Work Design (MTM-HWD) ermöglicht als neues Prozessbaustein-system erstmals die gleichzeitige zeitökonomische als auch ergonomische Analyse auf Basis einer Ablaufbeschreibung. Hierdurch kann gegenüber der Anwendung von Einzelverfahren eine wesentliche Reduktion des Analyseaufwands erreicht werden (Finsterbusch und Härtel 2015). Dennoch bleibt aufgrund der hohen Granularität der Methode ein nicht unerheblicher Aufwand erhalten, der sich insbesondere in der Ermittlung erforderlicher Informationen begründet.

Es bestehen bereits vielfältige Ansätze zur Vereinfachung von Zeitstudien, wobei eine Interpretation erfasster Bewegungsdaten häufig die Basis bildet (vgl. u. a. Deuse et al. 2020, Koch et al. 2022 und Benter 2018). Weitere Ansätze stellen die Nutzung von textbasierten Arbeitsabläufen oder Simulationen wie bei Borsdorf et al. (2022) oder Benter und Neumann (2023) dar. Für die Erstellung von MTM-HWD Analysen bedarf es aufgrund der hohen Granularität einer detaillierten Aufnahme und Interpretation. Ein Ansatz hierzu wird in Jansing et al. (2023b) beschrieben und ist in Abbildung 1 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die auf ein Skelettmodell abstrahierten Bewegungsdaten in einer Logik verarbeitet werden, die die Analyse der Bewegungsdaten und deren Interpretation verzahnt.



**Abbildung 1:** Konzept zur Generierung von MTM-HWD-Analysen auf Basis von Bewegungsdaten (i.A.a. Jansing et al. 2023b)

Die Analyse von Bewegungsdaten kann grundsätzlich auf zwei unterschiedlichen Wegen erfolgen. Abhängigkeiten, welche deterministisch bekannt sind, können mit Domainwissen in Whitebox-Modellen (WB) abgebildet werden. Hierzu zählen bspw. Gelenkwinkel bei Rumpfneigung oder die Beinhaltung. Nicht bekannte Beziehungen werden datengetrieben über Blackbox-Modelle (BB) abgebildet. Beispiele hierfür sind die Greifart oder Greifbewegung (vgl. Brockmann et al. 2023 und Jansing et al. 2023a). Die Interpretation der Ergebnisse stellt die Regelkonformität sicher, schränkt die analysierbaren Möglichkeiten ein und erhöht damit die Ergebnisqualität.

Es bestehen vielfältige Möglichkeiten zur Bewegungsdatenerfassung. Neben markerbasierten Systemen stellt insbesondere die Extraktion von 3D-Bewegungsdaten aus 2D-RGB-Videodaten, wie bspw. über Pose Landmark Detection der Google Mediapipe (Google for Developers 2023), eine neue Entwicklung im Bereich der

Bewegungsdatenerfassung dar. Brockmann et al. (2023) beschreibt das Potenzial dieser Technologie für die arbeitswissenschaftliche Analyse manueller Prozesse anhand der Identifikation von Greifarten und Greifbewegungen der Hand.

Im vorliegenden Beitrag wird auf den Arbeiten von Jansing et al. (2023b) und Brockmann et al. (2023) aufgebaut. Es wird dargelegt, wie 2D-RGB-Videodaten genutzt werden können, um MTM-HWD-Analysen mit der erforderlichen Granularität zu erstellen. Hierzu wird auf aus Videos abstrahierten skelettale Bewegungsdaten sowie auf Informationen aus Objekterkennung zurückgegriffen.

### 3. Nutzung von 2D-RGB-Videodaten

Das Prozessbausteinsystem MTM-HWD erlaubt eine chronologische Modellierung manueller Prozesse mittels MTM-HWD-Aktionen, die durch Einflussgrößen charakterisiert werden. Eine Aktion beschreibt die eigentliche Tätigkeit, z. B. das unter Kontrolle bringen eines Gegenstandes, während die zugehörigen Einflussgrößen die Ausführungsbedingungen charakterisieren. Hierzu zählen bspw. Entfernungsbereich, Oberarmhaltung oder Greifart. (MTM ASSOCIATION e. V. 2021)

Wesentlich zur Beschreibung manueller Tätigkeiten ist die Kontrolle des Menschen über die gehandhabten Objekte. Das unter Kontrolle bringen sowie das Loslassen eines Gegenstandes begrenzen den Großteil der zu analysierenden Aktionen. Daher stellt die Identifikation der Zeitpunkte bei der Kontrollübernahme bzw. Freigabe die Grundvoraussetzung zur späteren Identifikation der ausgeführten Aktion und der zugeordneten Einflussgrößen dar.

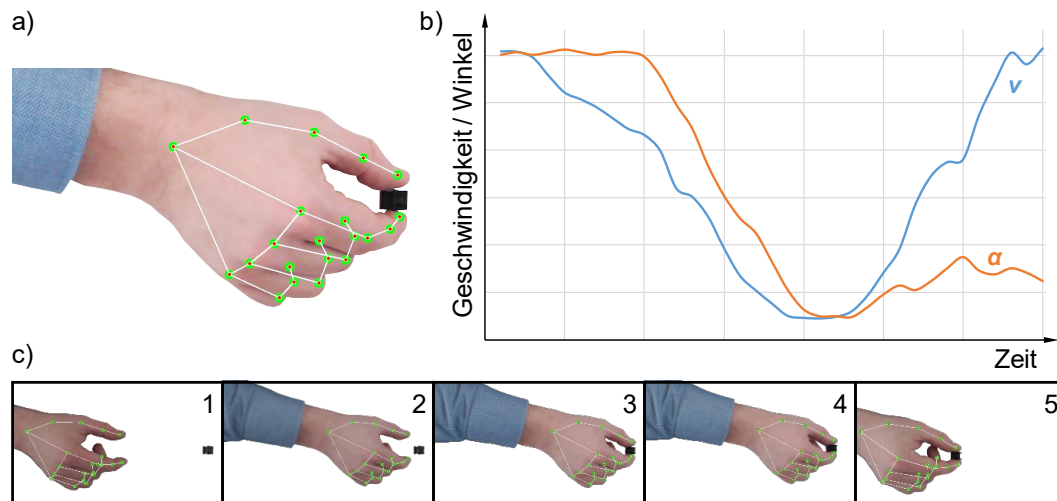
#### 3.1 Kontrollübernahme

Die Übernahme der Kontrolle über Objekte kann durch unterschiedliche Greifarten und Greifbewegungen erfolgen, wobei die Bewegungsmuster der Handwurzel und Fingerglieder nicht immer auf den Zeitpunkt der Kontrollübernahme hinweisen. Ein prägnantes Bewegungsmuster findet sich bei der Aufnahme eines Objektes durch Zufassen von Daumen und Zeigfinger, dahingegen ist der Zeitpunkt der Kontrollübernahme durch reines Berühren nicht erkennbar. Daher bedarf es einer differenzierten Betrachtung unter teilweiser Einbeziehung weiterer Informationen über die eigentlichen Bewegungsdaten hinaus.

Wird zunächst ein einfacher Fall der Kontrollübernahme durch ein Zufassen betrachtet, wie er in Abbildung 2 dargestellt ist, so verringert sich die Geschwindigkeit der Hand vor der Kontrollübernahme signifikant. Bei der Kontrollübernahme verringert sich anschließend der Winkel zwischen Daumen und Zeigefinger, bevor sich die Geschwindigkeit der Hand wieder erhöht. Die dargestellte Charakteristik erlaubt eine Identifikation durch die Implementierung eines entsprechenden WB. Dabei wird in zwei Schritten zunächst der Betrag der Geschwindigkeit sowie anschließend der Öffnungswinkel zwischen Daumen und Zeigefinger betrachtet. Es wird jedoch deutlich, dass diese Modellierung nur auf einen sehr spezifischen Fall des Zufassens zutrifft. Für weitere Fälle der Kontrollübernahme durch Zufassen mittels Daumen und Zeigefinger, bspw. aus einer Bewegung oder bei sich bewegenden Objekten, sind abweichende Bewegungsmuster zu identifizieren und zu implementieren.

Bei einer Kontrollübernahme eines Objektes durch ein Berühren ist eine Implementierung eines WB allein auf Basis von Bewegungsdaten teils nicht möglich. Ursächlich

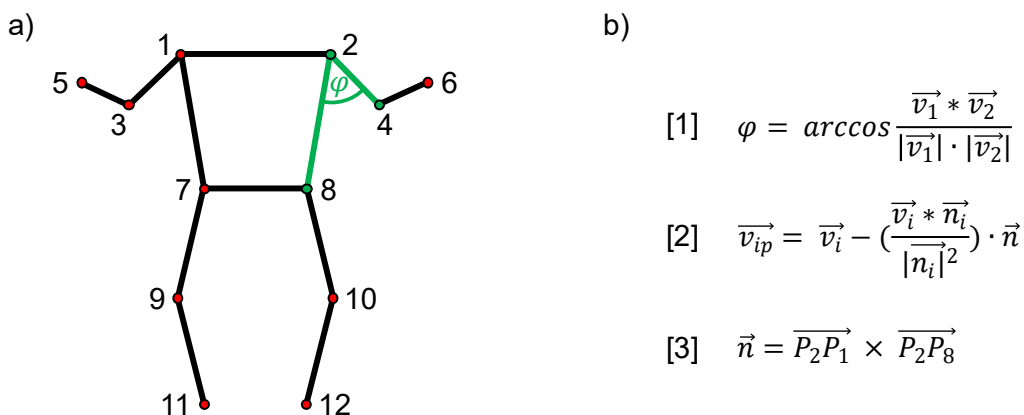
hierfür ist eine mangelnde Charakteristik im Bewegungsmuster. Hier kann eine gemeinsame Nutzung von Objekt- und Bewegungsdaten einen Ansatz liefern. Werden die Objekte im Umkreis der Handwurzel betrachtet und weist ein zuvor als statisch identifiziertes Objekt einen zu dieser vergleichbaren (2D-)Bewegungsvektor auf, wird von einer Kontrollübernahme ausgegangen.



**Abbildung 2:** a) Kontrollübernahme durch Zufassungsgriff mit Daumen und Zeigefinger  
b) Geglättetes Geschwindigkeitsprofil der Handwurzel ( $v$ ) und des Öffnungswinkels ( $\alpha$ ) zwischen Daumen und Zeigefinger  
c) Bildsequenz der Kontrollübernahme

### 3.2 Einflussgrößen

Ist der Zeitpunkt der Kontrollübernahme bekannt, so folgt die Interpretation hinsichtlich der ausgeführten Aktion mittels BB. Zugleich bedarf es der Ausprägung der zugehörigen Einflussgrößen. Dabei ist je nach identifizierter Aktion nur eine begrenzte Auswahl der insgesamt 26 Einflussgrößen (MTM ASSOCIATION e. V. 2021) zu ermitteln. Hierzu sind sowohl Ansätze auf Basis von BB als auch WB zu verfolgen. So wird ein entsprechendes BB zur Identifizierung der Einflussgrößen Greifart und Greifbewegung unter Nutzung von Videodaten in Jansing et al. (2023a) vorgestellt.



**Abbildung 3:** a) Skelettmodell mit Abduktionswinkel  $\varphi$  (i.A.a. Google for Developers 2023)  
b) Berechnung des Winkels  $\varphi$  in der Ebene P1, P2 und P8

Ein Großteil der Einflussgrößen mit vorrangig ergonomischem Bezug weist eine hohe Eignung zur Analyse mittels WB auf, da diese eine Winkelberechnung auf Basis von Richtungsvektoren im Skelettmodell zulassen. Der Ansatz wurde bereits in mehreren Publikationen beschrieben (bspw. Li und Xu 2019 oder Ciccarelli et al. 2023) und basiert auf der allgemeinen Gleichung [1], s. Abbildung 3b.

Für die Berechnung der Einflussgrößen in MTM-HWD ist diese Methode bspw. für die Beinhaltung im Sinne der Kniebeugung geeignet. Weitere Einflussgrößen, wie die Handgelenkshaltung, erfordern eine detailliertere Betrachtung durch Projektion des Vektorwinkels in unterschiedliche Körperebenen. Als Beispiel wird der Winkel zwischen Oberarm und Rumpf betrachtet, dargestellt in Abbildung 3a. Für diesen ist eine getrennte Betrachtung als Beugung (nach vorn) und Abduktion (zur Seite) erforderlich. So sind bspw. für die Abduktion die Vektoren  $\vec{v}_1$  und  $\vec{v}_2$  in die Ebene zu projizieren, die durch die Punkte P1, P2 und P8 aufgespannt wird. Die Berechnung von  $\vec{v}_{ip}$  erfolgt dann über [2], wobei  $\vec{n}$  den Normalenvektor der Ebene darstellt [3].

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Durch die unterstützte Erstellung zeitökonomischer und ergonomischer Analysen können Aufwände im Bereich des IE reduziert werden. Es wurde aufgezeigt, dass 2D-RGB-Videodaten dazu einen niederschweligen Ansatz mit hohem Informationsgehalt liefern können. Darüber hinaus wurden konkrete Ansätze zur Identifikation der Kontrollübernahme sowie zur Ausprägung von Einflussgrößen vorgestellt. Es wurde festgestellt, dass ein kombinierter Ansatz aus BB und WB großes Potenzial aufweist.

Für die sichere Identifikation der Kontrollübernahme wurde der Vorteil von Videodaten als Basis gegenüber abstrahierten Bewegungsdaten durch die Einbindung zusätzlicher Objektinformationen identifiziert. Im Bereich der Ausprägung von Einflussgrößen wurden WB als Alternative zum „Schätzen“ in händisch durchgeführten Analysen aufgezeigt. Dabei stellen sowohl die Definition der Projektionsebenen als auch die Güte der erfassten Bewegungsdaten eine große Herausforderung dar. Inkonsistente Daten können durch die Projektion mehrfach in das Ergebnis eingehen und dessen Qualität stark beeinflussen. Daneben fehlt es insbesondere bei der Definition der Beugung, Drehung und Neigung von Nacken und Rumpf an belastbaren Referenzpunkten im Skelettmodell.

In zukünftigen Arbeiten ist zu untersuchen, inwiefern die Qualität der Bewegungsdaten auf Basis von 2D-RGB-Videos für die Ausprägung von Einflussgrößen ausreicht bzw. zu einem veränderten Ergebnis in der Klassifizierung gegenüber händischen Analysen führen. Hierbei sind auch die potenziellen Schwächen monokularer Aufnahmen gegenüber multiperspektivischen zu untersuchen. Daneben sind weitere Potenziale der Objekterkennung zu untersuchen. Hierbei bieten die Einschränkung möglicher Folgeoperationen, die Sperrigkeit von Bauteilen sowie das Handhaben von Hilfsmitteln und Normteilen ein besonderes Potenzial. Für weitere Einflussgrößen, wie Füge toleranz oder Kraftrichtung, fehlt es an qualifizierten Ansätzen. Hier sind Möglichkeiten unter Einbindung weiterer Informationsquellen, wie durch Borsdorf et al. (2022) vorgestellt, weiterzuentwickeln und einzubinden.

## 5. Literatur

- Benter M (2018): Analyse von Arbeitsabläufen mit 3D-Kameras. Dissertation. Technische Universität Hamburg-Harburg, Hamburg.
- Benter M, Neumann M (2023): Digitale Arbeitsgestaltung mit MTMmotion. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (GfA) (Hrsg.): Nachhaltig Arbeiten und Lernen. Analyse und Gestaltung lernförderlicher und nachhaltiger Arbeitssysteme und Arbeits- und Lernprozesse, B.5.1. Frühjahrskongress 2023. Hannover, 01.-03.03.2023. Sankt Augustin: GfA-Press.
- Borsdorf A, Nöhring, F, Kuhlang P (2022): Automatisierte Erstellung von MTM-Analysen. Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie zur KI-gestützten, textbasierten Datenauswertung 117 (10), S. 651–654.
- Brockmann B, Jansing S, Möhle R, Patzelt D, Deuse J (2023): Generierung von videobasierten Bewegungsdaten zur Identifizierung relevanter Einflussgrößen für zeitliche und ergonomische Analysen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (GfA) (Hrsg.): Nachhaltig Arbeiten und Lernen. Analyse und Gestaltung lernförderlicher und nachhaltiger Arbeitssysteme und Arbeits- und Lernprozesse, B.4.1. Frühjahrskongress 2023. Hannover, 01.-03.03.2023. Sankt Augustin: GfA-Press.
- Cicarelli M, Scoccia C, Forlini M, Papetti A, Palmieri G, Germani M (2023): Comparison of Wearable Inertial Sensors and RGB-D Cameras for Ergonomic Risk Assessment. In: Sofia Scataglini, Gregor Harih, Wim Saeys und Steven Truijen (Hrsg.): Advances in Digital Human Modeling, Bd. 744. Cham: Springer Nature, S. 186–194.
- Deuse J, Busch F (2012): Zeitwirtschaft in der Montage. In: Montage in der industriellen Produktion: Springer, Berlin, Heidelberg, S. 79–107.
- Deuse J, Stankiewicz L, Zwinkau R, Weichert F (2020): Automatic Generation of Methods-Time Measurement Analyses for Assembly Tasks from Motion Capture Data Using Convolutional Neuronal Networks – A Proof of Concept. In: International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics: Springer, Cham, S. 141–150.
- Finsterbusch T, Härtel J (2015): Modellierung menschlicher Arbeit – Das Bausteinsystem MTM-HWD. In: Peter Kuhlang (Hrsg.): Modellierung menschlicher Arbeit im Industrial Engineering: Grundlagen, Praxiserfahrungen und Perspektiven. Stuttgart: ergonomia Verlag (MTM-Schriften Industrial Engineering, 3), S. 129–156.
- Google for Developers (2023): Pose landmark detection guide. Online verfügbar unter [https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/pose\\_landmarker#get\\_started](https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/pose_landmarker#get_started), zuletzt aktualisiert am 13.09.2023, zuletzt geprüft am 03.01.2024.
- Jansing S, Brockmann B, Möhle R, Patzelt D, Deuse J (2023a): Potenziale von Motion Capturing bei der Erstellung von Ausführungsanalysen. Zukunftsfähige zeitökonomische und ergonomische Studien. In: ZWF (ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb) 118 (1-2), S. 74–78.
- Jansing S, Möhle R, Brockmann B, Deuse J (2023b): The hybrid analysis as a disseminator in the field of motion economics studies through machine learning methods and rule-based knowledge. In: Julia Wright und Daniel Barber (Hrsg.): Human Factors and Simulation, Bd. 83. AHFE (2023) International Conference. San Francisco (USA), 20.–24. Juli 2023. USA: AHFE International, S. 158–167.
- Koch J, Büsch L, Gomse M, Schüppstuhl T (2022): A Methods-Time-Measurement based Approach to enable Action Recognition for Multi-Variant Assembly in Human-Robot Collaboration. In: Procedia CIRP 106, S. 233–238.
- Li L, Xu X (2019): A deep learning-based RULA method for working posture assessment. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting 63 (1), S. 1090–1094.
- Lotter B (2012): Montage in der Industriellen Produktion. Ein Handbuch Für Die Praxis. Unter Mitarbeit von Hans-Peter Wiendahl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg.
- MTM ASSOCIATION e.V. (Hrsg.) (2021): MTM-HWD. Lehrgangsunterlage. Hamburg: Eigenverlag.
- Schlund S, Mayrhofer W, Rupprecht P (2018): Möglichkeiten der Gestaltung individualisierbarer Montagearbeitsplätze vor dem Hintergrund aktueller technologischer Entwicklungen. In: Z. Arb. Wiss. 72 (4), S. 276–286.
- Scholer M (2018): Wandlungsfähige und angepasste Automation in der Automobilmontage mittels durchgängigem modularem Engineering -Am Beispiel der Mensch-Roboter-Kooperation in der Unterbodenmontage-. Saarländische Universitäts- und Landesbibliothek.
- Shell RL (Hrsg.) (1986): Work measurement: Principles and practice. Inst of Industrial Engineers.
- Statista (2022): Durchschnittseinkommen in Europa | Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/183571/umfrage/bruttomonatsverdienst-in-der-eu/>, zuletzt aktualisiert am 19.04.2022, zuletzt geprüft am 19.04.2022.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

## Arbeitswissenschaft in-the-loop

**Mensch-Technologie-Integration  
und ihre Auswirkung auf Mensch,  
Arbeit und Arbeitsgestaltung**

70. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Institut für Arbeitswissenschaft und  
Technologiemanagement IAT  
Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für  
Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

06. – 08. März 2024

---

## GfA-Press

---

**Bericht zum 70. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 06. – 08. März 2024**

**Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart**

**In Zusammenarbeit mit: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2024

ISBN 978-3-936804-34-8

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin, Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

### **Geschäftsstelle der GfA**

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003, Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

[info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de](mailto:info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de) · [www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de](http://www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de)

### **Screen design und Umsetzung**

© 2024 fröse multimedia, Frank Fröse,

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de), [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)