

Zukunft der Bauindustrie: Einsatzbedingungen, Chancen und Risiken von innovativen Assistenztechnologien aus der Beschäftigtenperspektive

Patricia H. ROSEN¹, Jason RAMBACH², Gloria CALLINAN³, Sara SILLAURREN LANDABURU⁴, Patricia TEGTMEIER¹, Sascha WISCHNIEWSKI¹

¹ *Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA),
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund*

² *Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI),
Trippstadter Strasse 122, D-67663 Kaiserslautern*

³ *Technological University of the Shannon: Midlands, Midwest (TUS),
Nenagh Road, E41 PC92 Thurles*

⁴ *Tecnalia, Parque Científico y Tecnológico de Gipuzkoa,
Mikeletegi Pasealekua 2,
E-20009 Donostia-San Sebastián (Gipuzkoa)*

Kurzfassung: Der vorliegende Beitrag charakterisiert anhand von zwei umfangreichen Befragungen die Technologieverbreitung sowie die Arbeitsbedingungen in der Bauindustrie. Weiter werden die Erwartungen von Beschäftigten an innovative Assistenztechnologien in der Bauindustrie dargestellt. Es zeigt sich, dass insbesondere Beschäftigte mit geringer Berufserfahrung geringere Erwartungen an die Interaktionsgestaltung der Assistenzsysteme haben.

Schlüsselwörter: Interaktive Roboter, Exoskelette, Datenbrillen, Baugewerbe, Interaktionsgestaltung

1. Einleitung

Die Bauindustrie stellt eine wesentliche Säule für die europäische Wirtschaft dar, nicht nur für die Wertschöpfung, sondern auch für die Bereitstellung einer nicht unerheblichen Anzahl an Arbeitsplätzen. Der Sektor trägt schätzungsweise 9 Prozent zum Bruttoinlandsprodukt der EU bei und bietet mindestens 18 Millionen direkte Arbeitsplätze (EU-Kommission, 2019). Aktuell steht die europäische Bauindustrie vor vielfältigen Herausforderungen: die Verbesserung der Sicherheit und Gesundheit an Arbeitsplätzen, die Steigerung der Produktivität und die Umstellung auf nachhaltige Verfahren und Prozesse. Um auf diese Anforderungen zukünftig angemessen reagieren zu können, wird im europäischen Forschungsprojekt „Menschenzentrierte Technologien für eine sichere und umweltfreundlichere europäische Bauindustrie“ (Human-Tech) unter anderem untersucht, wie innovative Assistenztechnologien Beschäftigte bei verschiedenen Tätigkeiten im Baugewerbe unterstützen können und auch effizientere Bauverfahren ermöglichen. In unterschiedlichen Anwendungsfällen wird der Einsatz mobiler, interaktionsfähiger Roboter sowie passiver, oberkörpergetragener Exoskelette zur Unterstützung physischer Tätigkeiten untersucht. Zur Unterstützung kognitiver Tätigkeiten kommen Datenbrillen zur Erweiterung der Realität (augmented reality, AR) zum Einsatz. Dieser Beitrag beschreibt die aktuelle Verbreitung von Assis-

tenztechnologien und spezifische Arbeitsbedingungen sowie die Erwartungen von Beschäftigten in der Bauindustrie an die unterschiedlichen Assistenztechnologien.

2. Technologieverbreitung und Arbeitsbedingungen in der Bauindustrie

Die deskriptive Auswertung zu soziodemografischen Daten sowie der aktuellen Verbreitung von Assistenztechnologien und Arbeitsbedingungsfaktoren basiert auf der Befragung „Digitalisierung und Wandel der Beschäftigung“ (DiWaBe; Arntz et al. 2020). Es handelt sich um eine nicht-repräsentative deutsche Beschäftigtenbefragung. Für den vorliegenden Beitrag wurden abhängig Beschäftigte bis einschließlich 65 Jahren berücksichtigt, die im Baugewerbe tätig sind ($n = 351$). Als Vergleichsgruppe wurde die Stichprobe aller abhängig Beschäftigten bis einschließlich 65 Jahren herangezogen ($n = 6153$). Die Abfrage verschiedener Arbeitsbedingungsfaktoren erfolgte auf einer vierstufigen Skala (1 = häufig bis 4 = nie). Spezifische Umwelt- und betriebliche Risikofaktoren wurden darüber hinaus anhand der dritten Europäischen Unternehmenserhebung über neue und aufkommende Risiken (ESENER 2019) ermittelt. In der Erhebung wurden über 45.000 Unternehmen in 33 Ländern befragt (EU-OSHA, 2024). Hier wird der Sektor Baugewerbe/Bau, Abfallentsorgung, Wasser- und Stromversorgung mit der Gesamtstichprobe verglichen.

Die Alters- und Geschlechtsverteilung der analysierten DiWaBe Stichprobe zeigt, dass der Anteil jüngerer Menschen im Alter zwischen 18 und 34 Jahren ähnlich verteilt ist (12,9 % Baugewerbe vs. 15,9 % insgesamt). Im Baugewerbe sind hingegen besonders viele Menschen zwischen 50 und 65 Jahren beschäftigt (58,4 % Baugewerbe vs. 45,4 % insgesamt), jedoch weniger Menschen zwischen 35 und 49 Jahren als in der Vergleichsgruppe (28,7 % Baugewerbe vs. 38,6 % insgesamt). Es zeigt sich weiter, dass die Beschäftigten im Baugewerbe mit einem Anteil von 84,5 % überwiegend männlich sind, während der Anteil der männlichen Beschäftigten in der Gesamtstichprobe bei 53,5 % liegt.

Hinsichtlich der Technologieverbreitung zeigt sich, dass Beschäftigte im Baugewerbe hauptsächlich die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) des Smartphones nutzen. Diese auch in deutlich höherem Maße als die Vergleichsstichprobe (42,6 % Baugewerbe vs. 10,7 % insgesamt). Dieses Ergebnis gilt allerdings nicht für weitere mobile IKT wie Tablets (0,0 % Baugewerbe vs. 2,0 % insgesamt) oder Laptops (8,9 % Baugewerbe vs. 19,0 % insgesamt). Diese Arbeitsmittel sowie stationäre Desktop-PCs werden in der Bauindustrie deutlich weniger genutzt (23,7 % Baugewerbe vs. 53,4 % insgesamt). Hingegen werden im Baugewerbe Werkzeuge (27,6 % Baugewerbe vs. 10,0 % insgesamt) und Messgeräte (25,5 % Baugewerbe vs. 14,4 % insgesamt) häufiger eingesetzt.

Im Hinblick auf die analysierten Arbeitsbedingungsfaktoren zeigt sich, dass die Arbeit im Baugewerbe durch einen etwas erhöhten Zeitdruck gekennzeichnet ist ($MW = 3,56$; $SD = 1,1$ Baugewerbe vs. $MW = 3,34$; $SD = 1,0$ insgesamt). Die ständige Wiederholung gleicher Arbeitsprozesse ist dagegen im Baugewerbe etwas geringer ausgeprägt ($MW = 3,73$; $SD = 1,0$ Baugewerbe vs. $MW = 3,84$; $SD = 1,0$ insgesamt). Die körperliche Belastung ist im Baugewerbe höher ($MW = 2,93$; $SD = 1,5$ Baugewerbe vs. $MW = 2,41$; $SD = 1,4$ insgesamt). Dazu gehören das Heben und Tragen von Lasten sowie das Arbeiten in unergonomischen Körperhaltungen, wie z. B. Arbeiten auf den Knien oder Überkopfarbeit. Dieses Ergebnis wird auch durch die ESENER 2019 Daten

gestützt (siehe Abbildung 1). Hier zeigt sich, dass Beschäftigte im Baugewerbe wesentlich häufiger lauten Geräuschen sowie Hitze, Kälte oder Zugluft während ihrer Arbeit ausgesetzt sind als Beschäftigte in anderen Branchen. Ein ähnliches Muster zeigt sich bei den verschiedenen betrieblichen Gefahren. Beschäftigte im Baugewerbe berichten häufiger über das Heben oder Bewegen von schweren Lasten sowie über mehr Unfallrisiken mit Maschinen oder Handwerkzeugen und einer erhöhten Rutsch-, Stolper- oder Sturzgefahr.

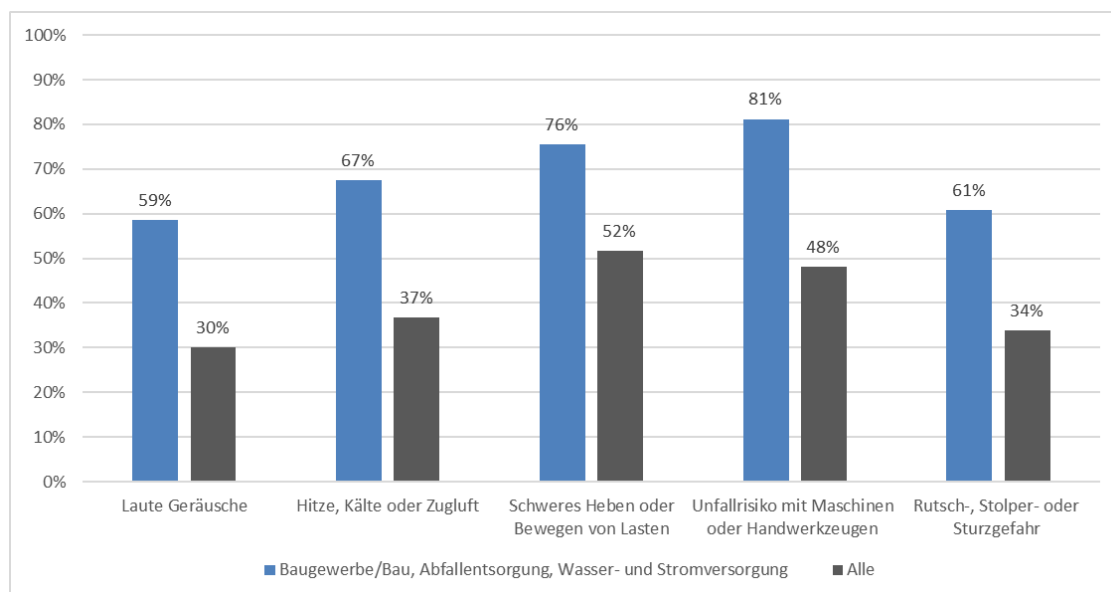


Abbildung 1: Anzahl Beschäftigte, die angaben, dass dieser Risikofaktor auf ihren Arbeitsplatz zutrifft

3. Erwartungen von Beschäftigten an innovative Assistenztechnologien

Ziel des Forschungsprojektes HumanTech ist, Beschäftigte der Bauindustrie zu verschiedenen Zeitpunkten einzubinden. Um eine Einbindung auch vor Fertigstellung der Forschungsdemonstratoren zu ermöglichen, wurden an drei Standorten zweier Forschungspartner Workshops mit Beschäftigten bzw. Auszubildenden durchgeführt. Die Teilnehmenden wurden zum Einsatz mobiler, interaktionsfähiger Roboter, passiver Exoskelette und AR-fähigen Datenbrillen auf Baustellen unter Berücksichtigung der projektspezifischen Anwendungsfälle befragt. Den Teilnehmenden wurden unterschiedliche Anwendungsfälle (z. B. das Anreichen von Ziegelsteinen beim Mauern oder die Applikation von Füllmasse in Fugen) und der geplante Einsatz der drei Assistenztechnologien vorgestellt. Im Anschluss daran wurden sowohl quantitative als auch qualitative Daten erhoben. Ein Ziel der Befragung bestand darin zu ermitteln, ob es zwischen den Erhebungsstandorten Unterschiede hinsichtlich der Erwartungen an die Interaktionsgestaltung der verschiedenen Assistenztechnologien gibt.

3.1 Stichprobe

Insgesamt nahmen $n = 75$ Personen aus dem Baugewerbe an der Datenerhebung teil. Von diesen stammten $n = 49$ Personen aus zwei unterschiedlichen Standorten

eines Bauunternehmens in Spanien und $n = 26$ Personen stammten aus einem irischen Ausbildungszentrum, die eine Lehre zum Bauschreiner oder Elektriker machen. Eine Übersicht der soziodemografischen Variablen der drei Stichproben ist in Abbildung 2 dargestellt.

		Spanien I (n = 22)	Spanien II (n = 27)	Irland (n = 26)
Geschlecht	weiblich	14%	19%	
	männlich	86%	78%	100%
	divers			
Altersspanne in Jahren	< 25	9%		85%
	zwischen 26 und 35	23%	19%	12%
	zwischen 36 und 45	27%	37%	
	zwischen 46 und 55	32%	30%	
	> 56	9%	11%	
Berufserfahrung in Jahren	≤ 5	19%	11%	92%
	zwischen 6 und 10			
	> 10	81%	85%	
Position	Arbeitende	45%	56%	92%
	Baustellenbeauftragte/ Sicherheitsbeauftragte	55%	44%	8%

Abbildung 2: Stichprobenübersicht; Werte wurden nur ausgewiesen, wenn größer 5 %

3.2 Variablen

Die Abfrage der Erwartungen an die Interaktionsgestaltung erfolgte anhand der Interaktionsprinzipien gemäß DIN EN ISO 9241-110 (2008) über einen selbst entwickelten Kurzfragebogen basierend auf dem Iso-Metrics-Fragebogen von Gediga und Kollegen (Gediga, Hamborg & Düntsch, 1999). Dieser enthielt je eine Frage zu den sieben ursprünglichen Interaktionsprinzipien (Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Lernförderlichkeit, Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Individualisierbarkeit, Fehlertoleranz). Alle Antworten erfolgten auf 5-stufigen Likert-Skalen (1 = stimmt nicht, 5 = stimmt sehr).

3.3 Statistische Auswertung

In den drei Stichproben wurde für jede Technologie der Mittelwert über alle Interaktionsprinzipien berechnet. Mögliche Unterschiede zwischen den drei Gruppen wurden mittels einfaktorieller MANOVA untersucht. Gemäß Shapiro-Wilk Test wurde eine Abweichung von der Normalverteilung der Daten für die allgemeinen Erwartungen an Exoskelette ($p < .05$) und Datenbrillen ($p < .05$) in der Gruppe Spanien II festgestellt. Die Korrelationen zwischen den abhängigen Variablen waren gering ($r < .80$), was darauf hindeutet, dass Multikollinearität die Analyse nicht konfundiert hat. Die Überprüfung der Homogenität der Fehlervarianzen erfolgte mittels Levene-Test, gemäß dem wir eine Gleichheit der Fehlervarianzen für interaktive Roboter ($p > .05$), Exoskelette ($p > .05$) und Datenbrillen ($p > .05$) annehmen konnten. Homogenität der Kovarianzmatrizen war gemäß Box-Test jedoch nicht gegeben ($p = .012$).

3.4 Ergebnisse

Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Beschäftigtengruppen für die kombinierten abhängigen Variablen, $F(3, 50) = 2,98$, $p = .040$, partielles $\eta^2 = .152$, größte charakteristische Wurzel nach Roy = .179. Post-hoc wurde für jede abhängige Variable eine einfaktorielle ANOVA durchgeführt. Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen für die Erwartungen an interaktive Roboter, $F(2, 51) = 4.377$, $p = .018$, partielles $\eta^2 = .146$, an Datenbrillen, $F(2, 51) = 3.511$, $p = .037$, partielles $\eta^2 = .121$ aber nicht für die Erwartungen an Exoskelette, $F(2, 51) = 1.629$, $p = .206$, partielles $\eta^2 = .060$. Der Tukey-HSD post-hoc Test zeigte weiter für die Erwartungen an interaktive Roboter einen signifikanten Unterschied zwischen der ersten Gruppe (Spanien I) und der dritten Gruppe (Irland) $p = .027$ ($M_{\text{Diff}} = -0.851$, 95 %-CI[-1.6148, -.0861]). Weiter zeigt sich für die Erwartungen an Datenbrillen ein signifikanter Unterschied zwischen der zweiten Gruppe (Spanien II) und der dritten Gruppe (Irland) $p = .032$ ($M_{\text{Diff}} = -0.9086$, 95 %-CI[-1.7529, -.0643]). Der Vergleich der Erwartungen an die einzelnen Technologien zwischen den drei Gruppen ist in Abbildung 3 dargestellt.

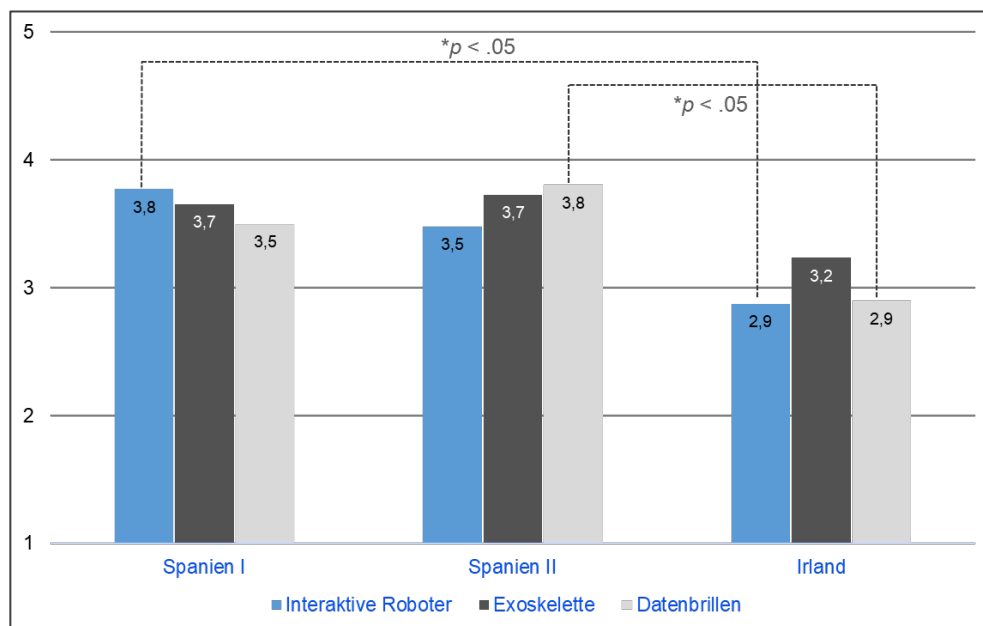


Abbildung 3: Erwartungen an gemittelte Interaktionsprinzipien für Assistenztechnologien; (1 = stimmt nicht, 5 = stimmt sehr)

4. Diskussion und Fazit

Anhand zwei umfangreicher Befragungen zeigt sich deskriptiv, dass der Einsatz von herkömmlichen Assistenztechnologien im Baugewerbe zum Teil höher als in anderen Tätigkeitsbereichen ist (gilt für Smartphones und Messgeräte). In der betrachteten Stichprobe sind vermehrt ältere, männliche Beschäftigte vorhanden. Es wird häufiger über Zeitdruck und physische Belastungen berichtet. Zudem sind Umwelt- und betriebliche Risikofaktoren im Baugewerbe deutlich stärker ausgeprägt als in anderen

Tätigkeitsbereichen. Eine Analyse der Erwartungen hinsichtlich der Interaktionsprinzipien von innovativen Assistenztechnologien von Beschäftigten in der Bauindustrie zeigt, dass Personen der Gruppe mit der geringsten Berufserfahrung (Gruppe 3, Irland) geringere Erwartungen an die Interaktionsgestaltung haben. Dies zeigt sich insbesondere für interaktive Roboter und Datenbrillen. Ein möglicher Grund hierfür kann in der geringeren Vertrautheit mit den jeweiligen Arbeitsprozessen liegen und der damit verbundenen geringeren Fähigkeit, Potenziale für den jeweiligen Einsatz der Assistenztechnologien zu antizipieren. Dieses Potenzial können Beschäftigte mit mehr Berufserfahrung möglicherweise bereits besser einschätzen, was in Folge mit höheren Erwartungen an die jeweiligen Systeme einhergeht. In jedem Falle sollten die spezifischen Erwartungen an innovative Assistenztechnologien bei der Einführung erfasst und adressiert werden.

In Kombination mit der dargestellten Charakterisierung der aktuellen Arbeitsbedingungen zeigen die Ergebnisse weiter, dass bei der Systementwicklung sowie der Implementierung ein besonderer Fokus auf die Gestaltung einzelner Interaktionsprinzipien gelegt werden sollte. Für die Gestaltung des Kommunikationskanals zwischen Beschäftigten und interaktiven Robotern sollten insbesondere die spezifischen Umgebungsbedingungen berücksichtigt werden. Beispielsweise schränken laute Geräusche mögliche Interaktionsmodi ein. Eine Gestensteuerung und visuelle Hinweisreize sind daher möglicherweise einer Audiosteuerung vorzuziehen, um die Aufgabenangemessenheit, Steuerbarkeit und Selbstbeschreibungsfähigkeit zu erhöhen. Auch häufig unstrukturierte Umgebungen sowie eine geringere Zeitelastizität sollte bei der Interaktionsgestaltung sowohl von robotischen Systemen als auch Datenbrillen berücksichtigt werden. Eine unzureichende Gestaltung kann sich gegebenenfalls negativ auf die wahrgenommene Aufgabenangemessenheit sowie die Fehlertoleranz auswirken. Unabhängig vom Assistenzsystem sollte in jedem Fall eine ausführliche Evaluation der Interaktionsgestaltung nach Systemeinführung erfolgen. Die Ergebnisse erlauben weitere wesentliche Anpassungen, die zu einer beschäftigtenzentrierten Technologiegestaltung beitragen.

5. Literatur

- Arntz et al. (2020) Digitalisierung und Wandel der Beschäftigung (DiWaBe): Eine Datengrundlage für die interdisziplinäre Sozialpolitikforschung. Datenreport und Forschungspotenzial. ZEW-Dokumentation 20-02, Mannheim. <http://ftp.zew.de/pub/ze>
- DIN EN ISO 9241-110 (2008) Ergonomie der Mensch-System-Interaktion. Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung; Deutsche Fassung EN ISO 9241-110:2008. Berlin: Beuth.
- EU-Kommission (2019) Trend paper: From construction to built environment policies. Zugriff am 15.01.2024 unter <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/40541>
- EU OSHA (2024) Esener 2019. Zugriff am 15.01.2024 unter <https://visualisation.osha.europa.eu/esener/de/survey/overview/2019>
- Gediga, G, Hamborg, KC, Düntsch, I (1999) The IsoMetrics usability inventory: an operationalization of ISO 9241-10 supporting summative and formative evaluation of software systems. Behaviour & information technology, 18(3): 151–164.

Förderhinweis: Der vorliegende Beitrag entstand im Rahmen des Projekts Human-Tech. Das Projekt wird im Rahmen der Fördervereinbarung Nr. 101058236 aus dem Forschungs- und Innovationsprogramm der Europäischen Union "Horizon Europe" gefördert.



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 · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2024 fröse multimedia, Frank Fröse,

office@internetkundenservice.de, www.internetkundenservice.de