

Exoskelette im industriellen Anwendungsfall: Eine multikriterielle Betrachtung aus verschiedenen Perspektiven

Robert WEIDNER^{1,2}, Niclas HOFFMANN^{1,2}, Christine LINNENBERG¹,
Gilbert PROKOP¹

*¹ Institut für Mechatronik, Professur für Fertigungstechnik,
Universität Innsbruck
Technikerstraße 13, A-6020 Innsbruck
² Laboratorium Fertigungstechnik,
Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr
Holstenhofweg 85, D-22043 Hamburg*

Kurzfassung: Ein Einsatz von Exoskeletten in industriellen Kontexten gewinnt zunehmend an Interesse, wobei unterschiedliche Anwendungsszenarien und Erfahrungshintergründe mit Exoskeletten individuelle Erwartungshaltungen und Risikoeinschätzungen begründen können. Im Rahmen eines halbstandardisierten Interviews wurden deshalb verschiedene Interessensgruppen mit unterschiedlichem Fachhintergrund und Erfahrungen zu verschiedenen Querschnittsthemen (u.a. Verständnis eines Exoskeletts, Anwendungsbereiche, betriebliche Einführung, Nutzer-feedback, Systemakzeptanz) befragt. Die einzelnen Aussagen wurden inhaltlich sinnvoll zusammengefasst und spiegeln das aktuelle und teilweise kontroverse Meinungsbild wider, welches in Zukunft mit der Entwicklung von Leitfäden harmonisiert werden könnte.

Schlüsselwörter: Exoskelette, Industrie, Interessensgruppen, Experteninterview, qualitative Inhaltsanalyse

1. Einleitung

Im industriellen Kontext hat die Interaktion zwischen Mensch und Technik stetig zugenommen. Neben dem Ansatz der Mensch-Roboter-Kollaboration werden zunehmend auch vom Menschen anziehbare Systeme, sogenannte Exoskelette, entwickelt und im Rahmen von Pilotprojekten in verschiedenen industriellen Anwendungsszenarien getestet (u.a. Spada et al. 2018; Bednorz et al. 2019; Hensel et al. 2018).

Industrielle Exoskelette haben als physische Unterstützungssysteme das Ziel den menschlichen Bewegungsapparat zu unterstützen bzw. zu stabilisieren, um die menschliche Leistungsfähigkeit und Einsetzbarkeit zu erhöhen sowie die physiologische und ggf. auch psychologische Beanspruchung während manueller Arbeitsvorgänge zu reduzieren (Weidner & Karafillidis, 2018). Adressierte Anwendungsgebiete sind bspw. in der Produktion und Logistik zu finden. Häufig sollen hier Tätigkeiten in ergonomisch verbesserungsfähigen Positionen, Tätigkeiten mit Zwangshaltung oder Tätigkeiten mit starker Wiederholungsrate unterstützt werden, um das Risiko für muskelskelettale Erkrankungen zu verringern (de Looze et al. 2016).

Abbildung 1 zeigt – abgeleitet aus der Erfahrung – unterschiedliche Interessensgruppen, die für eine zukünftig erfolgreiche Implementierung von Exoskeletten im industriellen Anwendungsfeld zusammengeführt werden sollten, wobei aktuell sicherlich die Herausforderung bei der Berücksichtigung aller möglichen Rahmenbedingungen

(Hoffmann et al. 2019), der Abschätzbarkeit der tatsächlichen Wirksamkeit (Glitsch 2019) sowie der eingeschränkten praktischen Gebrauchstauglichkeit (Baltrusch et al. 2018) von Exoskeletten liegt. Vor diesem Hintergrund wurden Interviews mit verschiedenen repräsentativen Interessensvertretern durchgeführt, um bereits bestehende gemeinsame als auch unterschiedliche Auffassung zu Querschnittsthemen wie dem Verständnis, den Systemanforderungen oder Kriterien zur Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit zu dokumentieren. Im Ergebnis können der derzeitige Fortschritt zu einer harmonisierten Betrachtung von Exoskeletten abgeschätzt und noch offene Diskussionspunkte identifiziert werden.

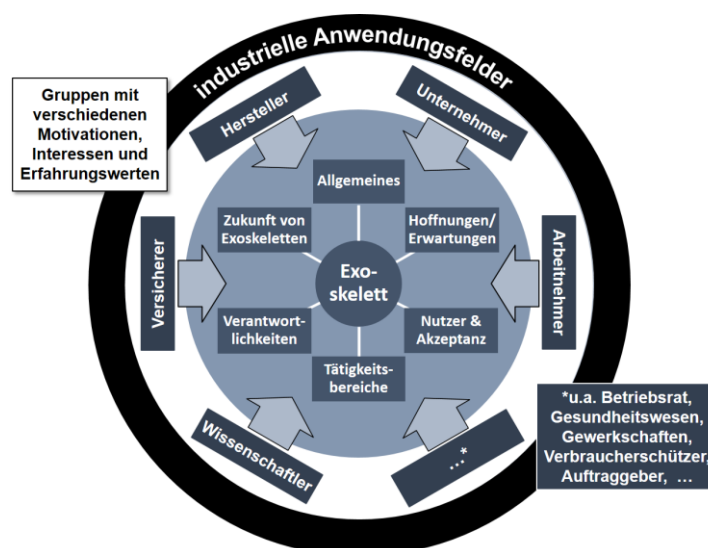


Abbildung 1: Interessensgruppen und Querschnittsthemen für industrielle Exoskelette

2. Methode und Vorgehen

Um den Wissensstand und die Erwartungen der jeweiligen Interessensgruppe zu den einzelnen Querschnittsthemen zu ermitteln, wurden Telefoninterviews auf Basis eines halbstandardisierten Gesprächsleitfadens geführt, aufgezeichnet und im Anschluss qualitativ (vgl. Kaiser 2014) ausgewertet. Hierzu wurden die Interviews mit dem Tool „Trint“ automatisch transkribiert und anschließend manuell nachbearbeitet, wobei Transkriptionsfehler beseitigt und das jeweilige Datenmaterial anonymisiert mit der Interessensgruppe verknüpft wurden. Anschließend wurden die Texte kodiert, indem zentrale Aussagen markiert und dem entsprechenden Querschnittsthema zugeordnet wurden. Die erstellten Extraktionstabellen fassen zu den einzelnen Fragestellungen die komprimierten Kernaussagen der unterschiedlichen Expertengruppen zusammen. Das Ergebnis zu einer Fragestellung ergibt sich aus dem Resümee und einer Gegenüberstellung aller zusammengefassten Antworten.

Während der Telefongespräche nahm der Interviewer eine neutrale Position ein und moderierte zwischen den einzelnen Querschnittsthemen. Der Fragenkatalog wurde zudem in Teilen an die verschiedenen Interessensgruppen inhaltlich angepasst.

2.1 Querschnittsthemen der Experteninterviews

Der Gesprächsleitfaden umfasst *allgemeine* Fragen zur Definition, Klassifikation und Zielgruppe sowie zu Kontraindikationen von Exoskeletten. Beim Themengebiet

Hoffnungen/Erwartungen werden Chancen und Risiken des Einsatzes von industriellen Exoskeletten betrachtet, wobei auch wirtschaftliche Überlegungen einfließen können. Das Feld *Nutzer und Akzeptanz* stellt die Erfahrungswerte und Nutzerfeedbacks bei durchgeführten Pilotstudien in Unternehmen in den Vordergrund. Auch sollen Faktoren der Akzeptanz und Usability adressiert werden. Die Rubrik *Tätigkeitsbereiche* soll Aufschluss über geeignete Arbeitsplätze mit Exoskeletten geben, wobei auch auf betriebliche Hürden für deren Einsatz eingegangen werden soll. Das Themengebiet *Verantwortlichkeiten* stellt die Frage, wie eine richtige Nutzung von Exoskeletten im Betrieb zukünftig gewährleistet werden kann und welche Informationen vom Hersteller in der Betriebsanleitung gemacht werden sollen. Die Rubrik *Zukunft von Exoskeletten* betrachtet die zukünftige Entwicklung von industriellen Exoskeletten mit Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkten und schätzt den Zeitpunkt, ab wann ein flächendeckender Einsatz von Exoskeletten in der Industrie realistisch erscheint.

2.2 *Expertenauswahl*

Für die Interviewreihe wurden Experten mit unterschiedlichem fachlichem Hintergrund sowie aus unterschiedlichen Interessensgruppen ausgewählt, die bereits Erfahrungen im Umgang mit industriellen Exoskeletten sammeln konnten. Im Zeitraum zwischen Januar 2019 und April 2019 wurden insgesamt 18 Experten interviewt: ein Hersteller, ein Unfallversicherer, ein Unternehmensberater, sechs betriebliche Anwender, drei Biomechaniker, vier Ingenieure, ein medizinischer Ergonomie-Experte und ein Soziologe. Jeder Experte hat nachweislich seit mehreren Jahren enge Berührungspunkte mit Exoskeletten, sodass von einer Expertise mit Exoskeletten und deren Anwendungsumfeld ausgegangen werden kann.

3. Ergebnisse

3.1 *Allgemeine Erwartungshaltung*

Hinsichtlich der allgemeinen Fragen zu Exoskeletten zeigt sich, dass grundsätzlich unter einem Exoskelett eine körpergetragene bzw. körpernahe Struktur verstanden wird, die Tätigkeiten erleichtert bzw. stabilisiert und so körperliche (und ggf. auch kognitive) Belastungen reduziert. Ingenieure und Hersteller inkludieren bereits technische Aspekte hinsichtlich der Struktur, der Aktuatorik oder der Körperanbindung über Schnittstellen. Der industrielle Einsatz von Exoskeletten wird einheitlich zum einen durch die Möglichkeit der (Re-)Integration von (temporär) leistungsgeminderten Mitarbeitern in den Arbeitsalltag und zum anderen durch eine Gesundheitsprävention für Mitarbeitern an ergonomisch verbesserungsfähigen Arbeitsplätzen mit einer großen Flexibilität begründet. Gemäß des TOP-Prinzips sollen Exoskelette aber stets erst eingesetzt werden, wenn alle anderen technischen bzw. organisatorischen Maßnahmen ausgeschlossen sind. Dennoch sollten Exoskelette nach derzeitigem Erkenntnisstand stets freiwillig genutzt werden. Auch darf das Exoskelett keine einfach zu implementierbare Universallösung werden. Hersteller und Biomechaniker motivieren den Einsatz vorwiegend durch eine Produktivitäts- und Ausdauersteigerung des Nutzers. Bei Vorerkrankungen oder körperlichen Vorschädigungen des Nutzers sollten Exoskelette nicht angewendet werden, weshalb der Einsatz anfangs immer individuell mit einem Betriebsarzt abgesprochen werden sollte. Auch dürfen durch die Nutzung keine Einschränkungen und kein erhöhtes Unfallrisiko in der jeweiligen Arbeitsumgebung auftreten.

Mittelfristig erhoffen sich alle Interessensgruppen durch den Einsatz von Exoskeletten weniger Krankheitstage, eine einfache und kostengünstige ergonomische Entlastung am Arbeitsplatz, eine gesteigerte Produktivität und Arbeitsgenauigkeit, eine Arbeitsfähigkeit bis ins hohe Alter in körperlich anstrengenderen Berufen, eine Reintegration körperlich eingeschränkter Mitarbeiter sowie eine Steigerung der Mitarbeiterzufriedenheit und der betrieblichen Reputation, um so bspw. das Interesse neuer Mitarbeiter zu gewinnen. Von Ingenieuren und Herstellern wird derzeit bezweifelt, ob Exoskelette die gestellten Erwartungen zukünftig wirklich erfüllen können. Von allen Interessensgruppen wird diesbezüglich eingeräumt, dass aktuell keine Langzeiteffekte von Exoskeletten bekannt sind und die Gefahr einer muskulären Rückbildung (Muskelatropie), von Gelenk-, Haltungs- und Bewegungsänderungen sowie Verletzungen im Weichteilgewebe besteht. Exoskelette sollten deshalb aktuell nur temporär, d.h. zeitlich begrenzt, eingesetzt werden. Auch wird angemerkt, dass Interferenzen zwischen Exoskeletten und anderen technischen Geräten am Arbeitsplatz auftreten oder dass Anwender die Systemhoheit bei sehr leistungsfähigen Systemen verlieren könnten.

3.2 Anwendungsgebiete

Als möglicher Anwendungsort werden vor allem Arbeitsplätze in der Produktion und Logistik mit Tätigkeiten in statischer Vorbeuge (z.B. Fahrzeugmontage) oder ungünstigen Körperhaltungen (z.B. Überkopftätigkeit) oder bei der Handhabung von Werkzeugen, Bauteilen oder andere Güter angesehen. Des Weiteren müssen die Arbeitsplätze vielfältig, ortsflexibel, schwer zugänglich oder temporär sein, damit andere Maßnahmen gemäß des TOP-Prinzips nicht greifen können. Stets sei aber darauf zu achten, dass die Exoskelette mit den herrschenden Rahmenbedingungen kompatibel sind und so z.B. Nebentätigkeiten ermöglichen und in engen oder explosionsgefährdeten Bereichen funktionieren.

3.3 Derzeitiges Feedback

Das Nutzerfeedback zeigt, dass Exoskelette aktuell gewisse Tätigkeiten unterstützen, aber vor allem passive Systeme zeitgleich auch viele andere Tätigkeiten einschränken. Das Feedback ist grundsätzlich abhängig vom Exoskelett und wird sehr kontrovers diskutiert. Dies betrifft die Wahrnehmung der Unterstützung, die Selbstwahrnehmung, den Tragekomfort, die Hygiene, die Handhabung, die Eignung am Arbeitsplatz oder die Euphorie beim Tragen. Gelegentlich wird sogar eine Stigmatisierung festgestellt. Biomechaniker merken an, dass durchaus unterschiedliche Effekte beim gleichen System auftreten können, wenn das Exoskelett nicht optimal auf den Träger eingestellt wird. Zusätzlich besteht aktuell für einige Interessensgruppen das Problem, dass unausgereifte Systeme frühschnell auf den Markt kommen und die großen Erwartungshaltungen aufgrund von Fehlinformationen in der Werbung am Ende nicht erfüllt werden können. Auch ist für einige Systeme eine Schulung notwendig, die meist mit einer ServicepauSchale verbunden ist.

Zur Steigerung der Nutzerakzeptanz führen Anwender an, dass Exoskelette grundsätzlich körpernah, unscheinbar und bestenfalls sogar in die Kleidung integrierbar sein sollten. Die Systeme müssen sich schnell an- und ablegen, an den neuen Nutzer anpassen und problemlos in den Arbeitskontext einbetten lassen. Beim Tragen sollte es auch zu keiner Einschränkung der Bewegungsfreiheit kommen. Des Weiteren sollte

die Unterstützung direkt spürbar sein und eine gute Mensch-Technik-Interaktion vorliegen, die sich u.a. durch eine synchrone Zusammenarbeit auszeichnet. Indem Mitarbeiter gut informiert werden und Führungskräfte den Einsatz befürworten, kann der Stigmatisierung einzelner Mitarbeiter vorgebeugt werden. Für Unfallversicherer muss die Fluchtmöglichkeit in Gefahrensituation weiterhin bestehen. Anwender wünschen sich organisatorische (u.a. An- und Ausziehen des Systems als Arbeitszeit, Hygiene und Wartung von Systemen) und rechtliche Klarheit (u.a. bei Unfällen oder Folgeschäden). Unfallversicherer und Unternehmensberater sehen zusätzlich eine Abstimmung im Vergütungssystem (u.a. Leistungslohn, Zulagen).

Anwender und Biomechaniker wünschen sich, dass Exoskelette im Betrieb über geschultes Personal (z.B. Werksergonomen, Exoskelettbeauftragter, Arbeitsmediziner) eingeführt werden. Unterstützend sollte der Hersteller den konkreten Anwendungsfall vorgeben. Hingegen ist für Hersteller und Ingenieure die Auslieferung des Exoskeletts mit einer guten Betriebsanweisung ausreichend, weil das System so (fast) jedem verständlich sein sollte.

Die Bedienungsanleitung sollte detaillierte Angaben zum richtigen Anlegen und Bedienen des Systems, zur Sicherheit, maximalen Tragedauer, zu Inspektions- und Wartungsintervallen, Reinigungsmöglichkeiten und zur bestimmungsgemäßen Anwendung machen. Des Weiteren sollten Kontraindikationen und ein maximal zu hantierendes Gewicht angegeben werden. Ein Biomechaniker wünscht sich die Herstellerangabe von Kraft- bzw. Momentkurven der Aktuatorik. Für Unfallversicherer wären Angaben des Herstellers wichtig, ob das Exoskelett eine PSA, ein Medizinprodukt oder ein technisches Hilfsmittel darstellt. Auch sollte die Betriebsanleitung die gesetzlich vorgegebene Gefährdungsbeurteilung seitens des Herstellers aufweisen und dem Unternehmer Hilfestellung für die eigene Beurteilung geben.

Die allgemein geteilte Wahrnehmung ist, dass Exoskelette häufig einen zu geringen Entwicklungsstand aufweisen, um regulär und flächendeckend eingesetzt werden zu können. Hierfür seien reifere Systeme notwendig. Einen wesentlichen Entwicklungssprung werden sicherlich intelligente Systeme darstellen, die die Bewegungs- und Nutzerintension zuverlässiger vorausahnen, um daran angepasst die benötigte Unterstützungsleistung in Echtzeit anzupassen. Idealerweise könnte sich ein aktives Exoskelett dann genauso wie die menschliche Muskulatur verhalten und auf schnell wechselnde Tätigkeiten reagieren. Aufgrund des Datenschutzes wird eine Speicherung und Auswertung von Bewegungs- und Nutzungsdaten kontrovers diskutiert, um bspw. ganze Arbeitsplätze oder Wartungsintervalle zu optimieren.

Das Meinungsbild über die Eignung einzelner Methoden zur Evaluation der Performance bzw. Eignung von Exoskeletten zeigt sich sehr diffus. Zur Diskussion stehen physiologische Messmethoden (u.a. Muskelaktivität, Herzkreislauf), Leistungskennwerte des Systems (u.a. Kraft, Drehmoment), simulierte Entlastungswerte (u.a. Gelenke), Bewegungsanalysen (u.a. Freiheitsgrade, Posturographie), Analysen des Weichteilgewebes (u.a. Blutfluss, Druckstellen), subjektive Fragebogen (u.a. Unterstützung, Komfort) oder andere noch unbekanntere Methoden.

4. Diskussion

Zusammenfassend zeigt die Auswertung der Experteninterviews in vielen Teilen ein relativ einheitliches Verständnis, wobei auch Diskussionspunkte offensichtlich wurden. Zentrale Aspekte sind in Abbildung 2 abschließend zusammengefasst. Anzumerken sei, dass sich nicht alle Experten immer zu jeder Fragestellung äußern konnten oder

wollten. In den Bereichen eines gemeinsamen Verständnisses könnte eine entsprechende Norm bzw. eine Standardisierung nützlich sein. In anderen Bereichen findet sich aktuell viel Unwissenheit und eine unterschiedliche Handhabung. Hier gilt es zukünftig mit Hilfe harmonisierender und themenbezogenen Leitfäden (u.a. zur Evaluierung, Gestaltung, betrieblichen Einführung, Betriebsanleitungen) einen einheitlichen Kenntnisstand im deutschsprachigen Raum für die industrielle Anwendung von Exoskeletten zu schaffen.

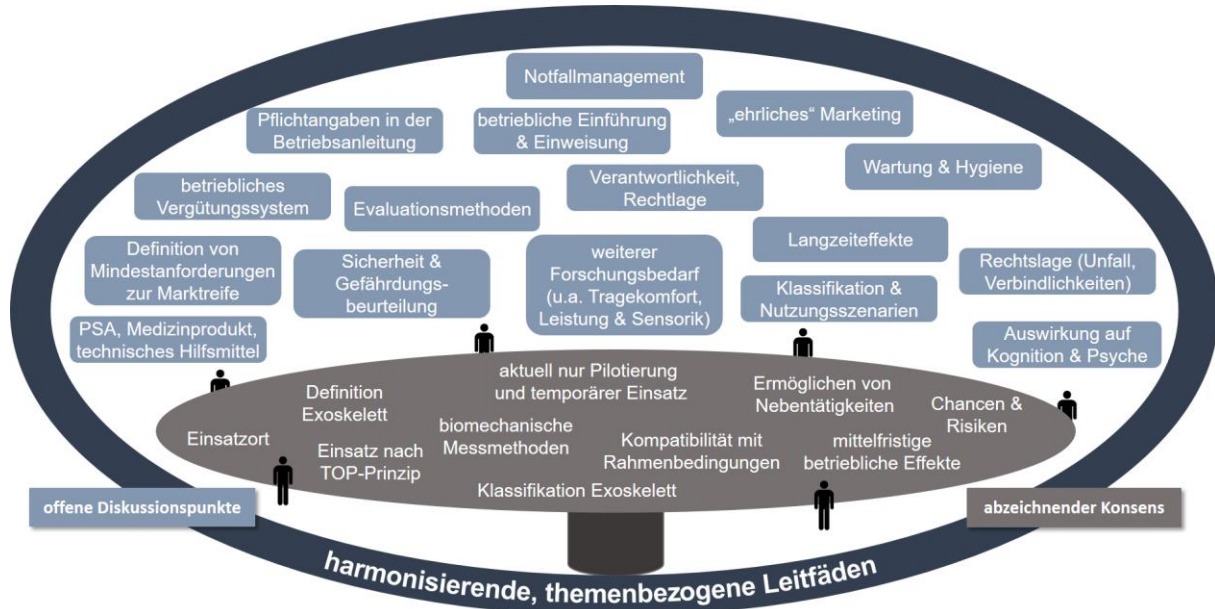


Abbildung 2: Konsens und offene Diskussionspunkte in den durchgeführten Experteninterviews

5. Literatur

- Baltrusch SJ, van Dieën JH, van Bennekom CAM, Houdijk H (2018). The effect of a passive trunk exoskeleton on functional performance in healthy individuals. *Applied Ergonomics* 72: 94-106.
- Bednorz N, Kinne S, Kretschmer V (2019). Ergonomieunterstützung in der Logistik – Industrieller Einsatz von Exoskeletten an Palettier- und Kommissionierarbeitsplätzen zur körperlichen Entlastung von Mitarbeitern. 65. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft 4(1): 1-7.
- de Looze MP, Bosch T, Krause F, Stadler KS, O’Sullivan LW (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics* 59: 1-11.
- Glitsch U (2019). Analyse der Wirksamkeit von Exoskeletten. Aus der Arbeit des IFA 1.
- Hensel R, Keil M, Mücke B, Weiler S (2018). Chancen und Risiken für den Einsatz von Exoskeletten in der betrieblichen Praxis. *Arbeitsmedizin Sozialmedizin Umweltmedizin (ASU) Zeitschrift für medizinische Prävention* 10: 645-661.
- Hoffmann N, Argubi-Wollesen A, Linnenberg C, Weidner R (2019). Towards a Framework for Evaluating Exoskeletons. *Production at the leading edge of technology*: 441-450.
- Kaiser R (2014). *Qualitative Experteninterviews - Konzeptionelle Grundlagen und praktische Durchführung* (HG Ehrhart, B Frevel, K Schubert, SS Schüttemeyer, Hrsg.). Springer VS.
- Spada S, Ghibaudo L, Gilotta S, Gastaldi L, Cavatorta MP (2018). Analysis of Exoskeleton Introduction in Industrial Reality: Main Issues and EAWS Risk Assessment. *Ad. Intell. Sys. Comp.* July: 236-244.
- Weidner R, Karafillidis A (2018). *Distinguishing Support Technologies. A General Scheme and its Application to Exoskeletons. Developing Support Technologies - Integrating Multiple Perspectives to Create Assistance that People Really Want.* Springer Verlag.

Danksagung: Der Beitrag ist im Rahmen des Forschungsprojekts „Exo@Work“ entstanden, welches von der Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW) gefördert wird. Die Autoren sind alleinig für die Inhalte des Beitrags verantwortlich.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch?

66. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

TU Berlin
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme

HU Berlin
Professur Ingenieurpsychologie

16. – 18. März 2020, Berlin

GfA-Press

Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 16. – 18. März 2020

**TU Berlin, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme
HU Berlin, Professur Ingenieurpsychologie**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2020
ISBN 978-3-936804-27-0

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.
Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**
Schriftleitung: Matthias Jäger

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.

Screen design und Umsetzung

© 2020 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de