

## **Bewertung der Kommissionierleistung mit und ohne Exoskelettanwendung für typische manuelle Kommissionieraufgaben**

Carolin KREIL

*Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,  
Professur für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Dresden  
Dürerstraße 26, D-01062 Dresden*

**Kurzfassung:** Manuelle Kommissioniertätigkeiten sind von hohen physischen Belastungen vor allem in Form von Lastenhandhabung geprägt. Unternehmen erhoffen sich insbesondere vom Einsatz passiver Exoskelette eine Verbesserung der tätigkeitsspezifischen Ausführungsbedingungen. Bislang fehlen wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse, inwieweit Exoskelette Einfluss auf die Produktivität und damit auf die Kommissionierleistung nehmen. An der Professur für Arbeitswissenschaft der TU Dresden werden umfangreiche Studien unter Laborbedingungen zur messtechnischen Erfassung der Kommissionierzeiten bei typischen Haupt- und Nebentätigkeiten der manuellen Entnahme und Abgabe der Ware mit einem rumpfunterstützenden passiven Exoskelett durchgeführt. Insgesamt wird der Einfluss physischer Belastungsmerkmale untersucht. Mögliche zeitliche Effekte können künftig in Planungsprozesse einfließen.

**Schlüsselwörter:** passives Exoskelett, Kommissionierleistung, manuelle Kommissionierung, Lastenhandhabung

### **1. Problemstellung**

In Logistikunternehmen sind an Arbeitsplätzen der manuellen Kommissionierung mit statischer Bereitstellung der Ware hohe physische Belastungen für die Beschäftigten anzutreffen. Vorherrschende Belastungsarten sind Heben, Halten, Tragen, sowie das Ziehen und Schieben von Lasten (Kamusella & Schmauder 2021). Die Nutzung vorwiegend passiver Exoskelette wird in solchen Unternehmen als ergänzende Maßnahme zur Belastungsreduzierung in Erwägung gezogen. Bisherige Studien zum Exoskeletteinsatz konzentrieren sich z. B. auf biomechanische (Glitsch et al. 2020), kinematische und physiologische Effekte (Van Engelhofen et al. 2018) sowie auf Aspekte der Arbeitssicherheit und Nutzerakzeptanz (Hensel et al. 2018). Bei der Erforschung von biomechanischen Zusammenhängen steht das Verhalten von Kraft- und Momentenverläufen im Fokus (Looze et al. 2016). Zur Untersuchung der Muskelaktivität bei der Nutzung eines Exosketts wird häufig die Elektromyographie eingesetzt (Glitsch et al. 2020; Looze et al. 2016; Lotz et al. 2009). Mittlerweile befassen sich weitere Studien zunehmend auch mit dem Einsatz von Exoskeletten im Bereich der Logistik. Winter et al. (2020) testeten passive Exoskelette im Logistik- und Transportgewerbe. Erfasst wurden u. a. sicherheitsrelevante Risiken in Abhängigkeit des Arbeitsumfeldes, Tragekomfort, subjektives Belastungsempfinden und kinematische Kenngrößen. Auch Schulz et al. (2020) untersuchten u. a. Aufgabenbeanspruchung und Tragekomfort passiver Exoskelette in der Intralogistik.

Was jedoch in den bisherigen Betrachtungen fehlt, ist die Untersuchung und Bewertung der Auswirkung von Exoskeletten auf die Effizienz der Arbeitsabläufe an manuellen Kommissionierarbeitsplätzen. Das wichtigste Maß zur Bestimmung der Wirksamkeit eines Kommissioniersystems ist die Kommissionierleistung, welche die erbrachte Leistung (Anzahl Pickartikel) in einer bestimmten Zeiteinheit beschreibt.

Der Kommissionierung, als einer der wesentlichen Funktionen der operativen Logistik, kommt hinsichtlich des innerbetrieblichen Leistungserstellungsprozesses eine besondere Bedeutung zu. Aus diesem Grund ist es wichtig, möglichst genau die erwarteten Prozesszeiten für diese Aufgabe zu bestimmen. Ein verbreiteter Ansatz für die Bestimmung von Prozesszeiten für manuelle Tätigkeiten beim Kommissionieren ist die Methods-Time Measurement (MTM). Aktuell liegen für eine MTM-Analyse allerdings keine gesonderten Zeiten für einen Betrachtungsfall mit Exoskelettanwendung vor. Diesbezüglich hat sich die Deutsche MTM-Vereinigung e. V. geäußert und festgestellt, dass auf Grund fehlender hinreichender arbeitswissenschaftlicher Ergebnisse kein Bedarf zur Anpassung der MTM-Prozessbausteinsysteme besteht. Der Abstraktionsgrad von z. B. MTM-AUS (Universelles Analysier System) sei so hoch, sodass keine Ergänzungen notwendig seien (Kuhlang 2019).

Diese in der Forschung fehlenden wissenschaftlichen Erkenntnisse und die Annahme, dass eine Anpassung der Körperhaltung durch mechanische Einwirkungen auf den Bewegungsapparat des Nutzers infolge des Tragens eines Exoskeletts, während der Lastenmanipulation denkbar ist (Daub 2017), rechtfertigen den Bedarf zur Untersuchung von veränderten Kommissionierzeiten mit und ohne Exoskelettanwendung.

## 2. Zielsetzung und Fragestellung

Unter Laborbedingungen soll detailliert analysiert werden, inwieweit der Einsatz eines Exoskeletts unter standardisiert veränderten Einflussgrößen Auswirkungen auf die Kommissionierleistung hat. Dafür werden normierte Bewegungsabfolgen an zwei verschiedenen Versuchsständen jeweils ohne und mit passivem Exoskelett absolviert und Kommissionierzeiten für verschiedene Expositionen erfasst. Primäres Ziel ist die Klärung der Frage, in welcher Weise sich mit dem Exoskeletteinsatz die Effizienz von Kommissioniertätigkeiten verändert. Es werden Aussagen erwartet, ob und bei welchen Teiltätigkeiten und Einflüssen abweichende Kommissionierzeiten auftreten und ob eine Ausrichtung der Prozesse auf den Exoskeletteinsatz ggf. zu Konflikten führt. Für die Planung und Kalkulation von Kommissioniersystemen (z. B. Bereitstellung technischer Ressourcen, Festlegung notwendiger Mitarbeiteranzahl) sind Kommissionierzeiten eine zentrale Planungskennzahl. Zu untersuchende Hypothesen, die mit Hilfe der geplanten Expositionen auf signifikante Einflüsse geprüft werden sollen, lassen sich den folgenden Betrachtungsbereichen der Kommissionierung zuordnen.

Haupttätigkeiten (Heben, Umsetzen und Tragen von Lasten)

- Durch den Einsatz eines Exoskeletts wird die Kommissionierleistung erhöht.
- Je kleiner das zu kommissionierende Lastgewicht, desto größer die Kommissionierleistung mit Exoskelettunterstützung gegenüber ohne.
- Je belastender die Körperhaltung, desto größer die Kommissionierleistung mit Exoskelettunterstützung gegenüber ohne.
- Bei geringen im Vergleich zu hohen Wiederholungen ist die Kommissionierleistung mit Exoskelettunterstützung gegenüber ohne höher, je niedriger das Lastgewicht und je günstiger die Körperhaltung ist.

### Nebentätigkeiten (Ziehen und Schieben von Lasten, Körperfortbewegung)

- Das Tragen eines Exoskeletts verlängert die Dauer der Nebentätigkeiten.
- Je länger die Wegstrecke, desto kleiner die Kommissionierleistung mit Exoskelettunterstützung gegenüber ohne.
- Je größer das zu bewegende Lastgewicht mit Kommissionierwagen, desto kleiner die Kommissionierleistung mit Exoskelettunterstützung gegenüber ohne.
- Je ungünstiger die Ausführungsbedingungen, desto kleiner die Kommissionierleistung mit Exoskelettunterstützung gegenüber ohne.

## 3. Untersuchungsdesign

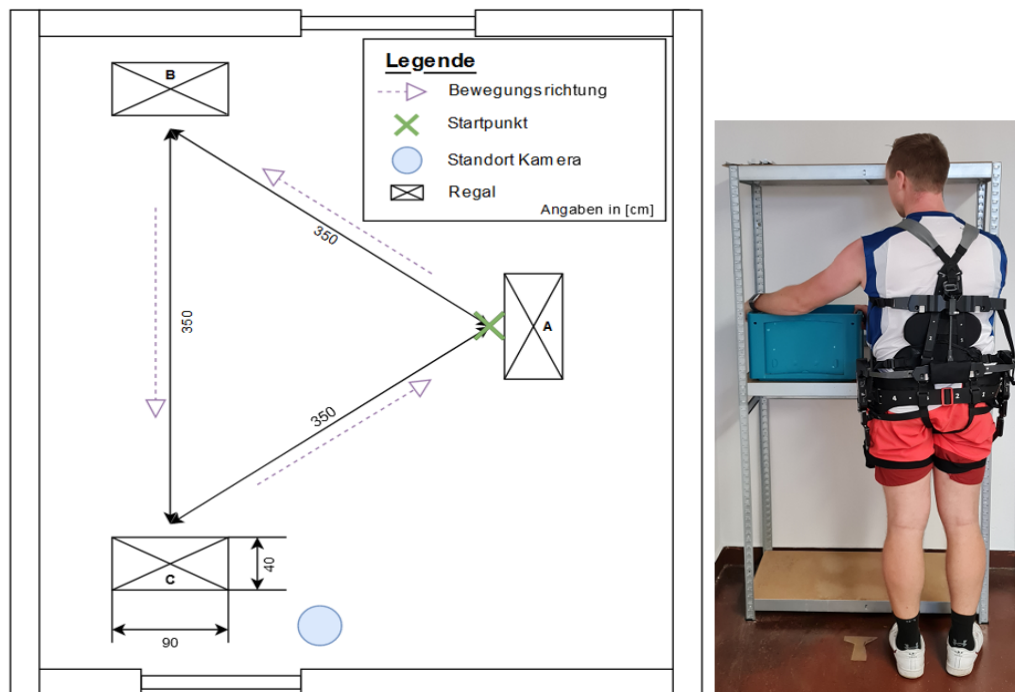
### 3.1. Versuchsaufbau

Untersuchungsgegenstand in den Laborstudien sind repräsentative Kommissioniertätigkeiten, die im Vorfeld in umfangreichen Feldversuchen analysiert und daraus typische Belastungsmerkmale und geometrische Arbeitsplatzbedingungen als Schnittmenge ermittelt wurden (Forschungsprojekt ExoKomm).

#### Laborstudie 1

In der ersten Teilstudie werden Haupttätigkeiten der Kommissionierung, mit dem Fokus auf die vorherrschende Belastungsart manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten untersucht. Basis der Versuche sind Tätigkeiten mit einer Ausprägung der Belastungsmerkmale für eine wesentlich erhöhte physische Belastung. Dabei soll in allen Expositionen die Belastungshöhe nahezu gleichbleiben, die Belastungsmerkmale allerdings variieren. Die Höhe der Belastungen für alle Expositionen wurde mit Hilfe der Leitmerkmalmethoden (spezielles Screening) der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA 2019) konzipiert. Durch eine unterschiedliche Anzahl an Hebevorgängen je Exposition, ist es möglich, die Punktwerte aller Expositionen in Kombination mit festgelegten differenten Belastungshöhen auf das gleiche Niveau zu bringen, um Messreihen miteinander vergleichen zu können. Die Belastungshöhe der Versuche liegt dabei im wesentlich erhöhten Bereich (Punktwert ca. 67), sodass, ein theoretischer Exoskeletteinsatz in der Praxis gerechtfertigt wäre. In insgesamt 16 Expositionen werden dabei drei verschiedene Körperhaltungen, zwei differente Lastmassen und der Einsatz eines passiven Exoskeletts untersucht. Die Körperhaltungen variieren dabei durch verschiedene geometrische Aufnahmebedingungen am Regalsystem des zu kommissionierenden Artikels (tief- unter Kniehöhe, hoch- über Hüfthöhe, hoch mit Rumpfvordrehung). Die Lastmassen spiegeln mit 7,5 kg und 12,5 kg zwei typische Lastmassen aus der Praxis wider (Feldstudien Forschungsprojekt ExoKomm). Die Probanden verrichten in den jeweiligen Expositionen zwischen 111 und 336 Hebe- bzw. Absetzvorgänge. Der Versuchsaufbau entspricht einer repräsentativen Kommissionierungsumgebung für das Person-zur-Ware System. Mithilfe der Versuchsanordnung wird eine eindimensionale Fortbewegung des Kommissionierenden simuliert. Alle stattfindenden Tätigkeiten, d. h. die Entnahme, der Transport und die Abgabe, werden manuell ausgeführt. Für die Untersuchung des Einflusses bei der Verwendung eines Exoskeletts auf die Kommissionierleistung ist es notwendig, die Lastenhandhabung einer sperrigen und schweren Entnahmeeinheit zu simulieren. Für diesen Effekt kommen Kleinladungsträger (KLT) mit einer Größe von 40 x 30 x 28 cm (B x T x H) zum Einsatz. Diese KLT werden von den Probanden zwischen drei Regalen (B x T x H: 90 x 40 x 180 cm) in fest vorgegebener Richtung bewegt. Die Regale sind dabei in

Form eines Dreiecks positioniert (s. Abbildung 1) und verfügen über höhenverstellbare und somit anthropometrisch an die Probanden anpassbare Regalhöhen. Mit dieser Modifikation der Entnahmehöhe, können die oben beschriebenen Körperhaltungen simuliert werden.



**Abbildung 1:** Links: Skizze Versuchsstand; Rechts: Proband an Regal B in Körperhaltung aufrecht, verdreht

Ein Versuch dauert je nach Exposition zwischen 1,5 h und 3 h. Der erste Abschnitt dieser Teilstudie begann im Juni 2021 und ist mit 160 von insgesamt 192 Versuchen zu ca. 85 % abgeschlossen. Nach Auswertung der Messwerte und daraus resultierenden Ergebnissen, sollen in einem zweiten Abschnitt (2. HJ 2022) mit einem weiteren passiven Exoskelett signifikante Einflüsse bestätigt werden.

### Laborstudie 2

In der zweiten Teilstudie zu Nebentätigkeiten der Kommissionierung wurden bisher zahlreiche Versuchsreihen zur Ermittlung einer geeigneten Normalisierung sowie Vorversuche mit drei Probanden durchgeführt. Die Vorversuche umfassten Expositionen zum Ziehen und Schieben von Lasten mit unterschiedlichen Wegstrecken, Körperfortbewegung ohne Lasten mit unterschiedlichen Wegstrecken, Körperfortbewegung über Treppen und Mischexposition aus den zuvor genannten Expositionen. Ziele der Vorversuche bestehen darin, den Einfluss verschiedener Wegstrecken auf die Kommissionierzeit zu untersuchen, um für die Hauptversuche geeignete Versuchsaufbauten und entsprechende Expositionen auswählen zu können.

### 3.2. Unabhängige und abhängige Variablen

Das Studiendesign ist darauf ausgelegt, den Einfluss der unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable zu untersuchen. In den zwei geplanten Laborstudien stellt die Kommissionierzeit die zu messende abhängige Variable dar, die unabhängigen Variablen werden in konstante und variable unterteilt (vgl. Tabelle 1).

**Tabelle 1:** Variablen Laborstudie 1 und 2

Laborstudie 1		
Abhängige Variablen	Unabhängige Variablen	
Kommissionierzeit	Konstant	Variabel
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probanden</li> <li>• Homogene Sortimentsstruktur</li> <li>• Geometrie der Entnahmeeinheit</li> <li>• Kommissionieraufgabe</li> <li>• Kommissioniersystem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Masse der Greifeinheit</li> <li>• Körperhaltung</li> <li>• Exoskelett</li> <li>• Häufigkeit</li> </ul>
Laborstudie 2		
Abhängige Variablen	Unabhängige Variablen	
Kommissionierzeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probanden</li> <li>• Homogene Sortimentsstruktur</li> <li>• Geometrie der Entnahmeeinheit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wegstrecke (Länge, Ausführungsbedingungen)</li> <li>• Exoskelett</li> <li>• Häufigkeit</li> <li>• Kommissionieraufgabe</li> <li>• Kommissioniersystem</li> <li>• Masse der Greifeinheit</li> <li>• Körperhaltung</li> </ul>

### 3.3. Untersuchungsmethoden

#### Zeitmessverfahren

Im Vorfeld der Laborstudien wurden verschieden Zeitmessverfahren für die Datenaufnahme geprüft. Dabei kamen Kameraaufzeichnungen, ein Inertialsensormesssystem (Xsens der Firma Xsens Technologies B.V.) mit 17 Sensoren sowie ergänzend eine Stoppuhr zum Einsatz. Der Unterschied der Kamerazeiten zu den gemessenen Zeiten mit dem Inertialsensormesssystem (Zeiten Fußsensors) beläuft sich in insgesamt 60 Vorversuchen auf max. 0,03 s und beträgt somit unter 0,05 %. Aufgrund dieser geringen Differenz und der Tatsache, dass die Anwendung des Messsystems in Verbindung mit einem Exoskelett und einer großen Anzahl an Hebe- und Absenkvorgängen nicht problemlos für die Probanden möglich ist (Verrutschen der Sensoren), wurde entschieden, die Zeitmessung mittels kamerabasierter Aufnahmen zu realisieren.

#### Exoskelett BackX V2

Bei der Durchführung der Expositionen mit Exoskelett kommt das passive Exoskelett SuitX des Herstellers US Bionics zum Einsatz. Dieses besteht aus mehreren Komponenten. Aufgrund des zu untersuchenden Kommissionierprozesses, der geprägt ist von manuellen, sich wiederholenden Hebe- und Absenkbewegungen, kommt das rumpfunterstützende BackX zum Einsatz. Um die Effektstärke der signifikanten Einflüsse zu vergrößern, wird in einer aufbauenden Laborstudie, welche im Sommer 2022 beginnen soll, ein baugleiches Exoskelett der Firma Ottobock verwendet.

### 3.4. Referenzierung der Messdaten

Durch das konzipierte Studiendesign sollen für alle Messungen gleiche Versuchsbedingungen vorliegen. Um zusätzlich die probandenspezifischen täglichen Unterschiede zu eliminieren und um eine Vergleichbarkeit der Messungen gewährleisten

zu können, werden die Zeitdaten auf eine jeweilige Bezugsgröße normalisiert. Dafür werden die gewonnenen Messergebnisse der Versuche ins Verhältnis zu einer standardisierten Referenzmessung gesetzt, die zu Beginn eines jeden Versuchstages vorgenommen wird. Für Laborstudie 1 erfolgte die Normalisierung in drei Messreihen a 10 Messzeiten. Dafür wurde die Gehzeit einer definierten Wegstrecke ermittelt, der Median der dritten Messreihe wurde als Normalisierungswert herangezogen.

Um weitere Störgrößen auszuschließen erfolgte die Abfolge der Expositionen an den jeweiligen Versuchstagen nach dem Zufallsprinzip.

### 3.5. Auswahl Probandenkollektiv

Die Stichprobengröße von 12 Personen wurde anhand einer A-Priori-Poweranalyse in G-Power (Erdfelder et al. 2007) ermittelt. Die Probanden sind alle männlich, im Alter zwischen 18 und 40 Jahren und wurden durch Einhaltung definierter Ein- und Ausschlusskriterien ausgewählt und anthropometrisch vermessen.

## 4. Literatur

- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2019a) MEGAPHYS – Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2019, Band 1.
- Daub U (2017) Evaluation aspects of potential influences on human beings by wearing exoskeletal systems). In: M. Bargende, H.-C. Reuss & J. Wiedemann (Hrsg.): 17. Internationales Stuttgarter Symposium (S. 1331–1344). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Erdfelder E, Buchner A, Faul F, Lang G-A (2007) Statistik-Software, G-Power.
- ExoKomm, Forschungsprojekt TU Dresden, Planungsgrundlage für den Einsatz von Exoskeletten in der Kommissionierung, 2019-2022.
- Glitsch U, Bäuerle I, Hertrich L, Heinrich K, Liedtke M (2020) Methodik zur Analyse der biomechanischen Wirksamkeit von Exoskeletten. In: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (Hrsg.): DGUV Report 2/2020, 7. Fachgespräch Ergonomie 2019 (S. 81–85). Berlin.
- Kamusella C, Schmauder M (2021) Exoskelette bei manuellen Kommissionieraufgaben? In: "sicher ist sicher". Ausgabe 010/2021 und 11/2021. Erich Schmidt Verlag, S.475-481 und S. 526-534.
- Kazerooni H, Tung W, Pillai M (2019) Evaluation of Trunk-Supporting Exoskeleton). In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (Bd. 63, S. 1080–1083).
- Kuhlang P (2019) Positionen der Deutschen MTM-Vereinigung e. V. zu Assistenzsystemen und zur Verarbeitung von digitalen Bewegungsdaten (MTM-Schriften Industrial Engineering Nr. 12). Hamburg.
- Looze M P, Bosch T, Krause F, Stadler K S, O'Sullivan L W (2016) Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load). In: Ergonomics, 59 (5), S. 671–681.
- Lotz C A, Agnew M J, Godwin A A, Stevenson J M (2009) The effect of an on-body personal lift assist device (PLAD) on fatigue during a repetitive lifting task). In: Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology, 19 (2), S. 331–340.
- So B C L, Cheung H H, Liu S L, Tang C I, Tsoi T Y, Wu C H (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). In: International Journal of Industrial Ergonomics, 76, S. 1–9.
- Schulz H, Bednorz N, Lückmann P, Hauser S (2020) Anwendung von passive Exoskeletten in der Intralogistik, (ild Schriftenreihe, Band 66). Essen.
- SuitX. (2017) backX: Instructions for Use. model AC.
- Van Engelhofen L, Poon N, Kazerooni H (2018) Evaluation of an adjustable support shoulder exoskeleton on static and dynamic overhead tasks. In: SAGE Journals, 804-808.
- Winter G, Glitsch U, Felten C, Hedtmann J (2020) Einsatz von Exoskeletten bei körperlicher Arbeit im Logistik- und Transportgewerbe). In: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (Hrsg.): DGUV Report 2/2020, 7. Fachgespräch Ergonomie 2019 (S. 101–106). Berlin.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten

68. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und  
Fabrikautomatisierung IFF, Magdeburg

02. – 04. März 2022

---

## GfA-Press

---

**Bericht zum 68. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 02. – 04. März 2022**

**Otto-von Guericke-Universität Magdeburg;  
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Sankt Augustin: GfA-Press, 2022  
ISBN 978-3-936804-31-7

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**

© 2022 fröse multimedia, Frank Fröse

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