

Subjektive Evaluation eines passiven Exoskelettes zur Unterstützung bei Überkopftätigkeiten – Ergebnisse einer Interventionsstudie

Ralph HENSEL, Micha STEINMETZ, Mathias KEIL

*AUDI AG, Industrial Engineering Methoden
Ettinger Straße, D-85045 Ingolstadt*

Kurzfassung: Überkopftätigkeiten stellen mit einem Anteil von 18% nicht nur einen Belastungsschwerpunkt in der Produktion der AUDI AG dar, sondern sind aufgrund der schwerwiegenden medizinischen Implikationen ergonomisch kritisch einzuschätzen und können neben der kurzfristig wirksamen Belastung der Arm- und Schultermuskulatur, langfristig degenerative Erkrankungen der Schultergelenke und Halswirbelsäule bedingen. Exoskelette können in diesen Arbeitssituationen als personenzentrierte Maßnahme helfen, die Beanspruchung der Mitarbeiter zu reduzieren. In der vorliegenden Interventionsstudie wird das Exoskelett Paexo der Firma Ottobock unter realen Arbeitsbedingungen hinsichtlich seiner Praktikabilität im Industrieumfeld untersucht, wobei Usability, Nutzungsakzeptanz und subjektives Beschwerdeempfinden im Fokus stehen.

Schlüsselwörter: Exoskelette, Ergoskelette, Haltungsarbeit, Assistenzsystem, Muskel-Skelett-Erkrankungen

1. Einleitung

Nachdem Exoskelette ursprünglich für Anwendungsfälle in der medizinischen Rehabilitation und dem Einsatz im militärischen Bereichen entwickelt wurden, kündigt sich mit ersten Applikationsszenarien aktiver und passiver Exoskelette in der industriellen Praxis eine disruptive Veränderung auf dem Gebiet ergonomischer Assistenzsysteme an (de Looze et al. 2016). Mit dem zielgerichteten Einsatz von Exoskeletten in Industrieunternehmen ergibt sich die Möglichkeit, die physische Beanspruchung der Mitarbeiter zu reduzieren. Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels bieten diese zudem das Potenzial, leistungsgewandelte Mitarbeiter wieder in einen wertschöpfenden und wertschätzenden Einsatz in Produktion und Logistik zu reintegrieren.

Überkopftätigkeiten stellen mit einem Anteil von 18% nicht nur einen Belastungsschwerpunkt in der Produktion der AUDI AG dar, sondern sind aufgrund der schwerwiegenden medizinischen Implikationen ergonomisch kritisch einzuschätzen und können neben der kurzfristig wirksamen Belastung der Arm- und Schultermuskulatur, langfristig degenerative Erkrankungen der Schultergelenke und Halswirbelsäule bedingen. Exoskelette können in diesen Arbeitssituationen als personenzentrierte Maßnahme helfen, die Beanspruchung der Mitarbeiter zu reduzieren.

Das passive Exoskelett Paexo des Herstellers Ottobock bietet in diesem Kontext das Potenzial, die Muskeln und Gelenke im Schulterbereich, besonders bei der Überkopfarbeit, zu schonen. Das gelingt, indem Oberarmschalen das Gewicht der Arme (sowie eventuell handgeführter Arbeitsmittel) aufnehmen und über einen Ex-

pander-Federmechanismus ein quasistatisches Gleichgewicht herstellen. Das relative (Last)Gewicht der Arme wird über eine Stützstruktur in die Hüfte umgeleitet. Das System lässt sich sowohl an die Größe der Mitarbeiter als auch an die konkrete Arbeitssituation anpassen, indem die Unterstützungskraft der Seilzugmechanik variabel angepasst werden kann.

Ziel der vorliegenden Interventionsstudie war die Evaluation der Tauglichkeit des Paexo für den Einsatz in der Produktion. Neben Usability und Nutzungsakzeptanz stand hierbei insbesondere das Diskomfort- und Beschwerdeempfinden im Fokus.

2. Aufbau der Untersuchung

Für die Feldstudie haben acht männliche Probanden (siehe Tabelle 1) das Paexo über jeweils vier Wochen an ausgewählten Überkopfarbeitsplätzen in dem Unternehmensbereich der Montage am ungarischen Audi-Standort in Győr genutzt. In einer mehrstufigen Vorgehensweise bewerteten die Probanden den Umgang hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit auf Basis der Usability-Skala UMUX-Lite (Lewis 2013), das Diskomfort- und Beschwerdeempfinden mit der Body Part Discomfort Scale (Corlett & Bishop 1976) sowie die Nutzungsintention nach dem Technologieakzeptanzmodell (Davis 1989).

Tabelle 1: Deskriptive Statistik der Probanden.

Probanden (n = 8)	Mittelwert	±	Stabw.
Alter	29,3		7,8
Körpergröße (cm)	179,4		9,8
Gewicht (kg)	77,1		8,6
Dauer der Tätigkeitsausübung (MM)	29,0		23,6

2.1 Arbeitsplatzauswahl

Zum Zwecke der Nutzenevaluation des Paexo-Exoskeletts wurden mithilfe der Ergonomiebewertung (auf Basis der Arbeitsplatzstrukturanalyse APSA; Bogus & Dorn 2010) vier repräsentative Arbeitsplätze mit Überkopf- und Überschultertätigkeiten im Bereich der Montage des Audi A3 am ungarischen Standort in Győr ausgewählt. Hierbei handelt es sich um Arbeitsplätze im Unterflurbereich, an denen die Mitarbeiter die CW-Unterbodenverkleidung bei einer Taktzeit von ca. 1,8 Minuten montieren und verschrauben, wobei die relative Position des Handgelenks über die Trennung zwischen Überkopf- und Überschultertätigkeit entscheidet. Die Verweildauer in Überkopfhaltung beträgt je nach Arbeitsplatz zwischen 43 und 60%, die im Überschulterbereich zusätzlich zwischen 10 und 17%, woraus hohe Belastungsintensitäten resultieren. Zusätzlich zu den bereits ergriffenen technischen und organisatorischen Gestaltungsmaßnahmen könnte das Paexo-Exoskelett in diesen Arbeitssituationen helfen, die Beanspruchung der Mitarbeiter weiter zu reduzieren.

2.2 Methodische Vorgehensweise

Im Mittelpunkt der Feldstudie stand die Beantwortung der Fragestellung, ob das Exoskelett Paexo ein geeignetes Assistenzsystem für Mitarbeiter in der Fertigung darstellt. Ausgehend hiervon wurden folgende Forschungsfragen formuliert:

- 1) *Inwiefern hilft das Paexo-Exoskelett, die physische Beanspruchung, vor allem im Bereich der Schultern und Oberarme, zu reduzieren?*
- 2) *Verursacht das Paexo eine Lastumverteilung in andere Körperteile?*
- 3) *Wie hoch ist die wahrgenommene Gebrauchstauglichkeit des Systems?*
- 4) *Wird die Nutzungsintention von Entlastungsempfinden, Gebrauchstauglichkeit und Diskomfort beeinflusst?*

Die Überprüfung dieser Forschungsfragen erfolgte in einer anonymen, empirischen Fragebogenuntersuchung. Zu diesem Zweck wurde eigens ein standardisierter Fragebogen entwickelt, dessen Validität durch die Nutzung existierender Skalen sichergestellt wurde. Dieser Fragebogen kann unabhängig vom spezifischen Exoskelett und Arbeitsplatz eingesetzt werden und bildet die Grundlage für die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse.

Mithilfe der Body Part Discomfort Scale (Corlett & Bishop 1976) wurden in Kombination mit einer 7-Punkte-Likert-Skala im Vorfeld des Tests die körperlichen Beschwerden aus der Arbeitstätigkeit ermittelt (1 = „keine Beschwerden“ bis 7 = „starke Beschwerden“). Sowohl im Verlauf als auch im Nachgang der Untersuchung diente dieselbe Skala dem Monitoring des Beschwerdebildes, um einerseits die Verbesserung bestehender Beschwerden, und andererseits das Diskomfortempfinden (1 = „kein Diskomfort“ bis 7 = „starker Diskomfort“) bewerten zu können. Die Gebrauchstauglichkeit des Paexo-Exoskelettes wurde auf Basis des UMUX-Lite (Usability Metric for User Experience) nach Lewis (2013) eruiert. Im Fokus stand hierbei die Gebrauchstauglichkeit sowohl beim An- und Ablegen als auch dem Einsatz des Exoskelettes während der Tätigkeit. Mit dem Ziel, Einstellungs- und Verhaltensakzeptanz einander gegenüberzustellen wurde ferner auf Basis einer 7-Punkte-Likert-Skala (1 = „stimme nicht zu“ bis 7 = „stimme voll und ganz zu“) die Dimension der Nutzungsintention nach dem Technologieakzeptanzmodell (TAM 2) von Davis (1989) ermittelt. Die Mitarbeiter gaben zusätzlich Anmerkungen zu positiven und negativen Nutzungsaspekten.

3. Untersuchungsergebnisse

Aufgrund der Anzahl von acht Probanden, können nur Trends und keine statistisch signifikanten Aussagen aufgezeigt werden. Die hellgrau dargestellten Balken in Abbildung 1 beschreiben das Beschwerdebild der Probanden vor Beginn der Tragephase des Exoskelettes und stellen die erste Befragungsstufe (pre) dar. Die dunkel dargestellten Balken definieren das Beschwerdebild der Probanden nach der Tragephase des Exoskelettes und stellen die zweite Befragungsstufe (post) dar. Vor der Testphase wurden keine Beschwerden in der Nackenregion, Schulterregion, am unteren Rücken, an Hüften/Oberschenkel, an Knöchel/Füße, an der Brust- und Bauchregion berichtet. Nur sehr geringe Beschwerden wurden am oberen Rücken ($M = 1,13$, $SD = 0,35$), an den Oberarmen ($M = 1,25$, $SD = 0,71$), an den Handgelenken/Händen ($M = 1,25$, $SD = 0,71$) und an den Knien ($M = 1,13$, $SD = 0,35$) genannt. In der zweiten Befragungsrunde nach der Testphase wurde eine Reduktion der Beschwerden in den Handgelenken/Händen festgestellt. Ein Zunahmetrend der Beschwerdebilder wurde hingegen in der Nackenregion ($M = 1,25$, $SD = 0,71$), in der Schulterregion ($M = 1,50$, $SD = 1,07$), in den Oberarmen ($M = 1,38$, $SD = 0,74$) und in den Knien ($M = 1,50$, $SD = 1,41$) beobachtet. Im Bereich des unteren Rückens sind die Beschwerden am stärksten gestiegen ($M = 2,13$, $SD = 1,36$). Keine Veränderungen gab es an den Hüften/Oberschenkeln, an den Knöcheln/Füßen und im Bereich von Brust und

Bauch. Die Veränderungen des Beschwerdebildes zwischen erster (pre) und zweiter (post) Befragungsstufe werden in Abbildung 1 grafisch dargestellt.

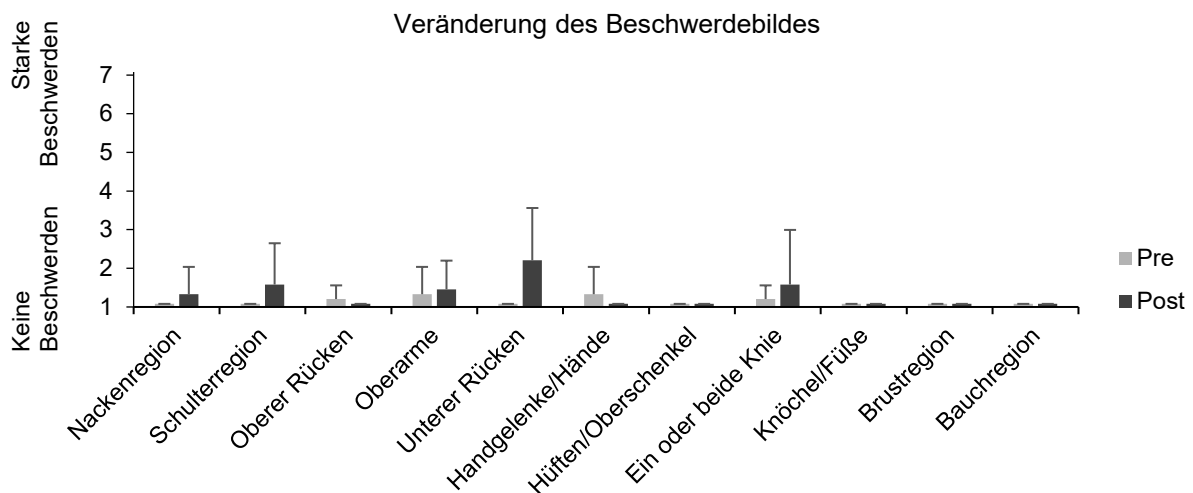


Abbildung 1: Die Beschwerdebilder der ersten (pre) und zweiten (post) Befragungsstufe im Vergleich. Die Daten sind als Mittelwert \pm Standardabweichung dargestellt.

Kein Diskomfortempfinden durch das Tragen des Exoskelettes wurde in den Handgelenken/Händen, in den Knien sowie im Bereich von Brust und Bauch beobachtet. In der Nackenregion ($M = 2,0$, $SD = 1,93$), am oberen Rücken ($M = 1,38$, $SD = 1,06$) und an den Hüften/Oberschenkeln ($M = 1,63$, $SD = 1,19$) wurde ein geringes Diskomfortempfinden festgestellt. Die Schulterregion ($M = 3,25$, $SD = 2,05$), die Ellenbogenregion ($M = 3,75$, $SD = 2,05$) und der untere Rücken ($M = 2,75$, $SD = 1,28$) zeigten mittleres Diskomfortempfinden auf. Die Abbildung 2 spiegelt das Diskomfortempfinden durch das Exoskelett Paexo grafisch wieder.

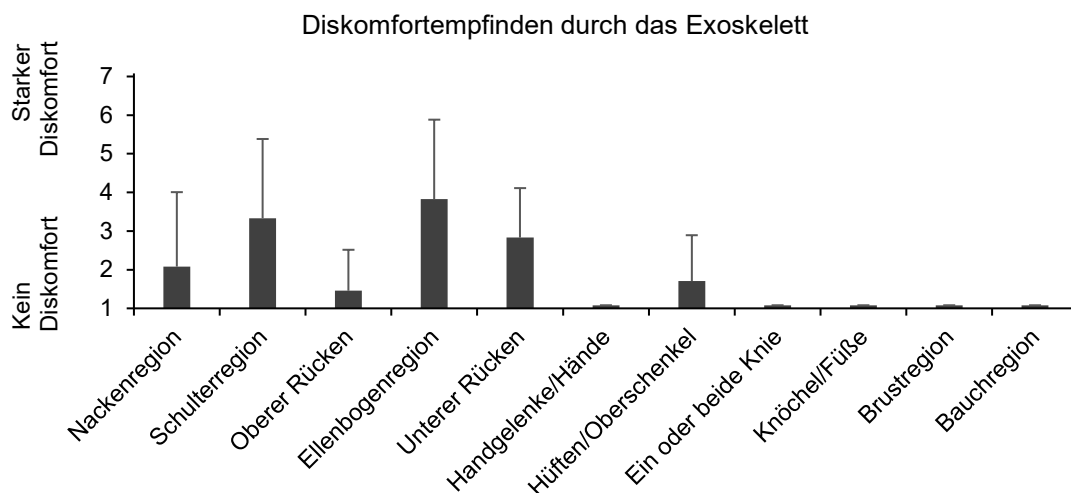


Abbildung 2: Das Diskomfortempfinden durch das Exoskelett Paexo. Die Daten sind als Mittelwert \pm Standardabweichung dargestellt.

Hinsichtlich der Anforderungen der Funktionen des Exoskelettes wird das An-/ Ablegen durchschnittlich mit $2,25 \pm 0,89$ Ratingpunkten und die Ausführung der Tätigkeit durchschnittlich mit $3,13 \pm 0,89$ Ratingpunkten bewertet. Die Bedienbarkeit beim

An- und Ablegen des Exoskelettes wird im Durchschnitt mit $2,13 \pm 0,83$ Ratingpunkten und bei der Ausführung der Tätigkeit mit $2,63 \pm 1,77$ Ratingpunkten beurteilt. Die Gebrauchstauglichkeit hinsichtlich Anforderungen und Bedienbarkeit liegen damit im unteren bis mittleren Drittel der Zustimmung. Die Ergebnisse sind als Boxplot in Abbildung 3 dargestellt.

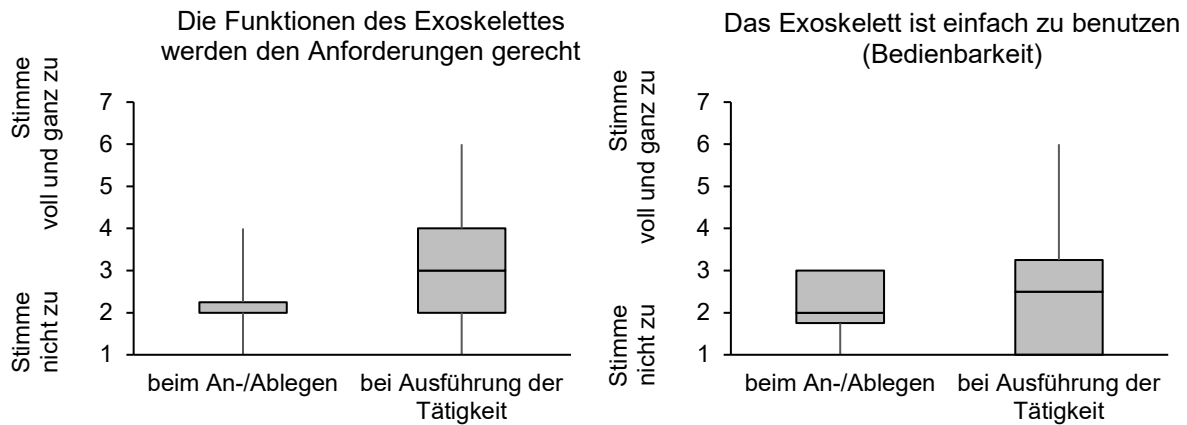


Abbildung 3: Boxplot zur Gebrauchstauglichkeit hinsichtlich Anforderungen (in Abbildung links) und Bedienbarkeit (in Abbildung rechts) beim An-/Ablegen bzw. bei Ausführung der Tätigkeit.

Auf die Frage hin, ob mit einem Zugang zum Exoskelett, die Beabsichtigung besteht, dieses auch zu nutzen, trifft mit einer Bewertung von $2,0 \pm 1,07$ Ratingpunkten auf wenig Zustimmung. Die Nutzungsintension insgesamt und somit die Akzeptanz des Exoskelettes liegt mit einer durchschnittlichen Bewertung von $1,63 \pm 0,77$ Ratingpunkten im unteren Drittel der Zustimmung.

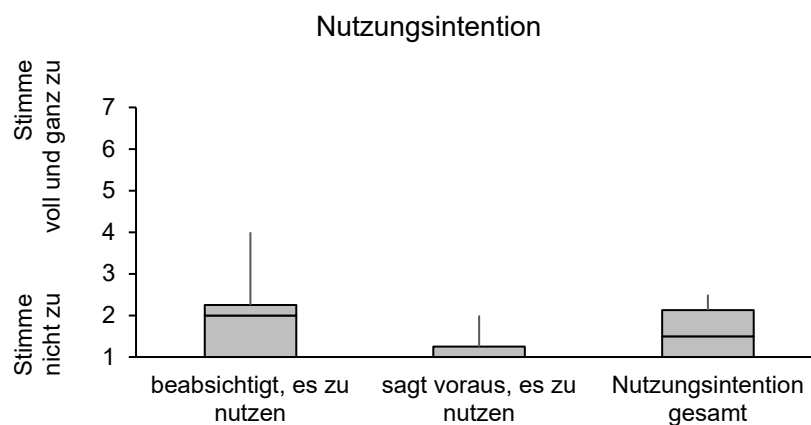


Abbildung 4: Boxplot zur Nutzungsintention.

4. Diskussion

Die Auswertungen von acht Probanden zeigen, dass die Nutzung des Paexo-Exoskelettes durch den Mitarbeiter keinen positiven Einfluss auf das Beschwerdebild der Schulterregion hat. Die formulierte erste Forschungsfrage kann deswegen nicht bestätigt werden. Vermutlich ruft die Haltung durch das Exoskelett in der Schulterre-

gion ungewohnte Belastungen hervor, die durch eine höhere Bewertung des Beschwerdeempfindens erklärt werden kann. Des Weiteren zeigt sich lokaler Diskomfort im Bereich der Ellenbogen bedingt durch die Oberarmschalen, die das Gewicht der Arme (sowie eventuell handgeführter Arbeitsmittel) aufnehmen. Ebenso wurde Druckempfinden im Bereich des unteren Rückens reklamiert, was auf eine Lastumverteilung in den unteren Rücken (vermutlich durch Hyperextension in der Lendenwirbelsäule) hinweist und damit die zweite formulierte Forschungsfrage stützt.

Zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage bezüglich der Gebrauchstauglichkeit wurde diese hinsichtlich des An- und Ablegens sowie bei der Ausführung der Tätigkeit untersucht. Die Funktionen des Exoskelettes beim An- und Ausziehen sowie bei Ausführung der Tätigkeit werden den Anforderungen nicht gerecht. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass sich das An- und Ausziehen am Anfang etwas schwierig und ungewohnt gestaltet, sich aber durch mehrmaligen Einsatz vermutlich verbessern wird. Dies gilt es durch einen längerfristigen Test zu untersuchen.

Bei den Probanden der Studie ist eine geringe Nutzungsintention aufgrund des wahrgenommenen Diskomforts, des niedrigen Entlastungsempfindens sowie der mangelhaft bewerteten Gebrauchstauglichkeit zu verzeichnen. Insofern ist der in Forschungsfrage 4 formulierte Einfluss als negativ zu bewerten und wäre mit einem umfangreicheren Probandenpool auch statistisch zu verifizieren.

5. Literatur

- Bogus T, Dorn R, (2010) Berücksichtigung des Arbeitsplatzbedarfs für einsatzkritische leistungsgewandelte Mitarbeiter im Planungsprozess. In: 57. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press, 265-268.
- Corlett EN, Bishop RP (1976) A technique for measuring postural discomfort. *Ergonomics* 19:175-182.
- 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(5):671-681.
- Davis FD (1989) Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. Computer and Information Systems Graduate School of Business Administration, Michigan.
- Keil M, Hensel R, Spanner-Ulmer B (2010) Fähigkeitsgerechte Prozessmodellbausteine zur Generierung altersdifferenzierter Beanspruchungsprofile. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 03/2010:205-215.
- Knieps F, Pfaff H (2016) BKK Gesundheitsreport 2016: Gesundheit und Arbeit. Berlin: Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Lewis JR, Utesch BS, Maher DE (2013) UMUX-LITE: when there's no time for the SUS. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York: ACM. 2099-2102.
- Rogers E (2003) *Diffusion of Innovations*. New York: Free Press.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten

65. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

GfA-Press

Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,
Technische Universität Dresden;
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2019
ISBN 978-3-936804-25-6

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 Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband 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

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de