

Altersdifferenzierte Untersuchung zur muskulären Beanspruchung während des Erlernens einer sensumotorischen Arbeitsaufgabe

Françoise KUHLENBÄUMER, Jan-Eric FÄRBER, Philipp PRZYBYSZ,
Verena NITSCH, Susanne MÜTZE-NIEWÖHNER

*Institut für Arbeitswissenschaft (IAW), RWTH Aachen University
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*

Kurzfassung: Neue Arbeitsaufgaben in der Montage müssen gelernt und durch wiederholtes Ausführen der Arbeitsaufgabe geübt werden. In dieser Studie wird der Einfluss der wiederholten Ausführung auf die muskuläre Beanspruchung der Arbeitsperson anhand der zehnfachen Montage eines Getriebes betrachtet. Dabei galt es auch, den Einfluss von Kurzpausen (2 Min. vs. 4 Min.) zwischen den Ausführungen auf die muskuläre Beanspruchung zu untersuchen. An der Untersuchung nahmen 41 jüngere (20-35 Jahre) und 18 ältere (52-67 Jahre) männliche Versuchspersonen teil. Zur Beurteilung der muskulären Beanspruchung wurden elektromyografische Messungen vorgenommen. Die Ergebnisse zeigen eine Abnahme kleiner Beanspruchungen mit zunehmender Übung auf. Signifikante Effekte der Altersgruppe oder der Pausendauer konnten nicht festgestellt werden.

Schlüsselwörter: altersdifferenzierte Arbeitsanalyse, Erlernen, Anlernen, Kurzpausen, muskuläre Beanspruchung, Elektromyografie (EMG)

1. Einleitung

In der manuellen Montage müssen Arbeitspersonen regelmäßig neue Arbeitsaufgaben ausführen. So werden bspw. Produkte in immer kürzer werdenden Abständen kundenindividuell gefertigt und Prozesse aufgrund von Innovationen verändert. Arbeitsaufgaben in der manuellen Montage erfordern in der Regel sensumotorische Fertigkeiten, die zunächst erlernt und durch wiederholtes Ausführen der Arbeitsaufgabe geübt werden müssen (Rohmert et al. 1974). Mit zunehmender Anzahl an Wiederholungen nehmen üblicherweise die Ausführungsdauern und Fehlerzahlen ab (u.a. Jeske 2013). Gleichzeitig zeigte sich in bereits abgeschlossenen Versuchsreihen, dass nicht nur Leistungskennwerte im Mittel aufgrund der wiederholten Ausführung steigen sondern auch die gemittelte subjektiv erlebte mentale Beanspruchung der Versuchspersonen sinkt (Kuhlenbäumer 2018). Es stellt sich nun die Frage, ob die aufgrund zunehmender Übung abnehmende subjektiv erlebte Beanspruchung auch anhand der objektiven muskulären Beanspruchung, die anhand elektromyografischer Messungen geschätzt werden kann (Göbel 1996), nachweisbar ist (Forschungsfrage 1).

Gleiche Belastungen führen gemäß dem Belastungs-Beanspruchungs-Konzept (Rohmert, 1983) bei unterschiedlichen Arbeitspersonen zu unterschiedlichen Beanspruchungen. Da sich Arbeitspersonen unterschiedlichen Alters aufgrund ihrer physiologischen Eigenschaften sowie ihrer erworbenen Fähigkeiten und Fertigkeiten unterscheiden, ist zudem zu untersuchen, ob jüngere und ältere Arbeitspersonen

unterschiedliche Beanspruchungen beim Erlernen einer sensumotorischen Arbeitsaufgabe erfahren (Forschungsfrage 2).

Das Einhalten von Kurzpausen begünstigt die Leistungssteigerungen während des Erlernens einer sensumotorischen Arbeitsaufgabe (u.a. Iskander 1968), da sie der muskulären und zentralen Ermüdung entgegenwirken und die Möglichkeit für mentales Training (Iskander 1968, Hacker&Skell 1993) bieten. Es soll daher auch untersucht werden, ob die muskuläre Beanspruchung durch Kurzpausen von unterschiedlicher Dauer beeinflusst wird (Forschungsfrage 3).

2. Methode

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde eine Laborstudie zum Erlernen einer sensumotorischen Arbeitsaufgabe mit einer altersdifferenzierten Stichprobe durchgeführt. Zur Schätzung der muskulären Beanspruchung wurden elektromyografische Messungen vorgenommen.

2.1 Versuchspersonen

An der Laboruntersuchung nahmen 59 rechtshändige, männliche Versuchspersonen teil. Die Berücksichtigung von ausschließlich rechtshändigen, männlichen Versuchspersonen begründet sich zum einen damit, dass der Versuchsaufbau für Rechtshänder optimiert war. Zum anderen sollte aufgrund einer erwarteten geringen Effektstärke eine mögliche geschlechtsbedingte Varianz in den Daten ausgeschlossen werden. Der Altersgruppe AG I (20-35 Jahre; $M = 25,33$; $SD = 3,963$) gehörten 41 Versuchspersonen an und der AG II (52-67 Jahre; $M = 60,29$ Jahre; $SD = 5,336$) 18 Versuchspersonen. Die Wahl der Altersgruppen soll die Gegenüberstellung von Arbeitspersonen in den ersten 15 Jahren ihrer Erwerbsfähigkeit mit Arbeitspersonen in den letzten 15 Jahren vor der Rente ermöglichen.

Vier dieser Versuchspersonen mussten nach Abschluss der Studie von der Auswertung ausgeschlossen werden: Bei zwei Versuchspersonen (1x AG I; 1x AG II) war die Klebwirkung der Elektroden aufgrund von Schweißbildung unzureichend; bei den beiden anderen Versuchsperson (2x AG I) führten technische Probleme zu fehlenden Werten.

2.2 Untersuchungsmaterialien und Versuchsdesign

Als Arbeitsaufgabe wurde die wiederholte (10x) Montage eines zweistufigen Stirnradgetriebes R57F AD2 der Firma SEW Eurodrive GmbH & Co KG, Bruchsal gewählt. Dieses Bauteil erfordert die Montage von 31 Bauteilen, die sich sowohl hinsichtlich ihrer Größe und ihres Gewichts als auch ihrer Fügemethode unterscheiden. Die Montagearbeiten waren an einem Sitzarbeitsplatz auszuführen. Alle Bauteile wurden standardisiert bereitgestellt. Als Hilfsmittel stand den Versuchspersonen die Montageanleitung des Getriebeherstellers zur Verfügung, die lediglich geringfügig an den Versuch angepasst wurde. Zur Beurteilung der muskulären Beanspruchung wurden elektromyografische (EMG) Messungen mit dem Messsystem Noraxon TeleMyo DTS, Noraxon U.S.A., Inc., Scottsdale, Arizona, USA. vorgenommen.

Verwendet wurde ein 2 (Alter) x 2 (Pausendauer) x 10 (Aufgabenausführung) Mixed-Subjects Versuchsdesign. Mögliche Einflüsse der Altersgruppe und der Pausendauer auf die muskuläre Beanspruchung wurden im 2 x 2 Between-Subjects-

Design untersucht. Die Versuchspersonen beider Altersgruppen wurden dabei zufällig je zur Hälfte der Experimentalkondition „2 Minuten Pause“ oder „4 Minuten Pause“ zugeteilt. Entsprechend wurden jeweils 19 jüngere Versuchspersonen mit 2 Minuten oder 4 Minuten Pause angelernt und 9 ältere Versuchspersonen mit 2 Minuten bzw. 8 ältere Versuchspersonen mit 4 Minuten Pause angelernt.

Die Untersuchung des Einflusses der wiederholten Aufgabenausführung auf die muskuläre Beanspruchung erfolgte im Within-Subjects-Design. Die muskulären Beanspruchungen wurden mittels EMG-Messungen an vier Muskeln [Nackemuskel (Trapezius descendens), vorderer Schultermuskel (Deltoideus pars clavicularis, Anterior deltoideus), Oberarmbeuger (Biceps brachii), radialer Unterarmbeuger (Flexor carpi radialis)] der rechten und linken Körperhälfte beurteilt. Die Messrate lag bei 1500 Hz. Die an den Elektroden entstehende Spannungsdifferenz wurde durch einen Differentialverstärker vergrößert und per Funk auf die verarbeitende Hardware übertragen. Die Messdauer umfasste je einen gesamten Montagedurchgang und war somit stets unterschiedlich. Während eines Versuches wurden zehn Montagedurchgänge von der Versuchsperson ausgeführt, wodurch je 8 (Muskeln) mal 10 (Wiederholungen) Datensätze entstanden. Jeder Datensatz wurde über das Maximum Voluntary Contraction (MVC) Verfahren normalisiert. Mit Hilfe der Software Noraxon MR 8.3 wurden die EMG-Rohdaten gleichgerichtet, nach dem Root Mean Square – Verfahren in einem Zeitintervall von 100 ms geglättet und normalisiert (Konrad, 2011). MVC-Werte größer 100 % sind übliche Artefakte, die aufgrund der dynamischen Bewegung während der Montage auftreten können und wurden daher auch in der Auswertung berücksichtigt. Es erfolgten die Berechnungen der durchschnittlichen normalisierten Spannungen sowie der Häufigkeitsverteilungen der aufgetretenen Höhen der normalisierten Spannungen je Muskel und Wiederholung. Anschließend wurden die durchschnittlichen normalisierten Spannungen anhand einer messwiederholten Varianzanalyse statistisch untersucht. Bei Verletzung der Sphärizität wurden nach Greenhouse-Geisser korrigiert. Post-hoc Tests wurden als paarweise Vergleiche mit Anpassung nach Bonferroni berechnet. Das akzeptierte α -Fehler-Niveau lag bei der statistischen Analyse bei $p = 0,05$. Für signifikante Ergebnisse wurde die Effektstärke ω^2 (Field 2009) berechnet. Es wurde bei einer Versuchsperson der AG II mit der Versuchskondition „4 Minuten“ ein Ausreißer in der 10. Ausführung am rechten Unterarmbeuger identifiziert, der auf einen Messfehler zurückzuführen war. Dieser Wert wurde durch den Mittelwert der muskulären Beanspruchungen der 5.-9. Ausführung ersetzt.

2.3 Durchführung

Die Versuchsperson wurde zunächst über den bevorstehenden Versuch aufgeklärt und gebeten, eine Einwilligungserklärung zur Teilnahme zu unterschreiben. Anschließend wurde die Versuchsperson für die EMG-Messungen vorbereitet und die für die MVC-Normalisierung notwendige isometrische Maximalkontraktion der betrachteten Muskeln bestimmt. Im Hauptversuch war es die Aufgabe der Versuchsperson, das zweistufige Stirnradgetriebe wiederholt (10 x) zu montieren. Nach jeder einzelnen Montage wurde je nach Versuchskondition eine Pause von 2 oder 4 Minuten eingehalten. Die Pause konnte die Versuchsperson nach eigenen Bedürfnissen gestalten, allerdings war es ihr untersagt, Teile des Versuchsaufbaus bzw. der Versuchsaufgabe zu berühren. Nach Abschluss der Hauptaufgabe wurde der Versuchsperson eine Aufwandsentschädigung von 50 € ausgezahlt und sie wurde verabschiedet.

3. Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt exemplarisch die gemittelten muskulären Beanspruchungen der Versuchspersonen (dargestellt als gemittelte, durchschnittliche normalisierte Spannungen) des rechten Unterarmbeugers mit 95 %-Konfidenzintervall über alle zehn Ausführungen in Abhängigkeit der Altersgruppe und der Pausendauer. Es ist zu erkennen, dass der Mittelwert der Beanspruchung zu Beginn der Anlernung mit zunehmender Anzahl an Ausführungen steigt. Im weiteren Verlauf der Anlernung nähert sich der Mittelwert einem Grenzwert an. Dabei sind alle Mittelwerte der Versuchspersonen der AG II oberhalb derer der AG I. Die Mittelwerte der Versuchskondition „4 Minuten“ liegen jeweils geringfügig unter denen der Versuchskondition „2 Minuten“.

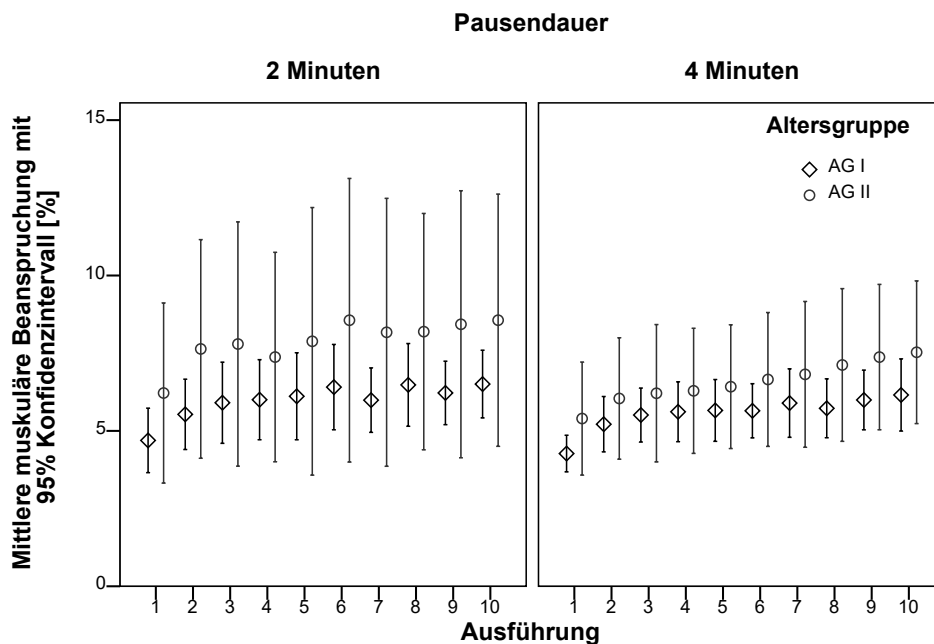


Abbildung 1: Muskuläre Beanspruchung dargestellt als gemittelte, durchschnittliche normalisierte Spannung mit 95 %-Konfidenzintervall am rechten Unterarmbeuger über alle zehn Ausführungen in Abhängigkeit der Altersgruppe und der Pausendauer

In der statistischen Analyse wurde ein signifikanter Haupteffekt mit großer Effektstärke der wiederholten Ausführung auf die muskuläre Beanspruchung nachgewiesen ($F_{(5,24; 267,18)} = 22,74; p < 0,001; \omega^2 = 0,04$). In anschließenden Post-hoc Tests wurden signifikante Differenzen zwischen den muskulären Beanspruchungen der ersten und aller weiteren Ausführungen sowie zwischen muskulären Beanspruchungen einzelner Ausführungen innerhalb der ersten vier Ausführungen festgestellt. Ein signifikanter Einfluss der Altersgruppe ($F_{(1; 51)} = 3,12; p = 0,08$) oder der Pausendauer ($F_{(1; 51)} = 1,08; p = 0,304$) auf die muskuläre Beanspruchung konnte nicht gefunden werden.

Die Zunahme der mittleren muskulären Beanspruchung mit steigender Anzahl an Ausführungen könnte dadurch entstehen, dass die muskulären Beanspruchungen absolut steigen oder aber kleine muskuläre Beanspruchungen entfallen, wodurch in der Mittelwertbildung größere muskuläre Beanspruchungen weniger relativiert werden. Um dies zu untersuchen, wurde eine Häufigkeitsanalyse der aufgetretenen muskulären Beanspruchungen durchgeführt. Zusammengefasst wurden muskuläre

Beanspruchungen in den Bereichen 0-5%, 5-10%, 10-15%, 15-20% und >20%. Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der Häufigkeitsanalyse für den rechten Unterarmbeuger repräsentativ für alle untersuchten Muskeln, deren Ergebnisse nicht wesentlich abweichen. Es wird deutlich, dass der Anteil kleinerer muskulärer Beanspruchungen mit zunehmender Anzahl an Ausführungen abnimmt.

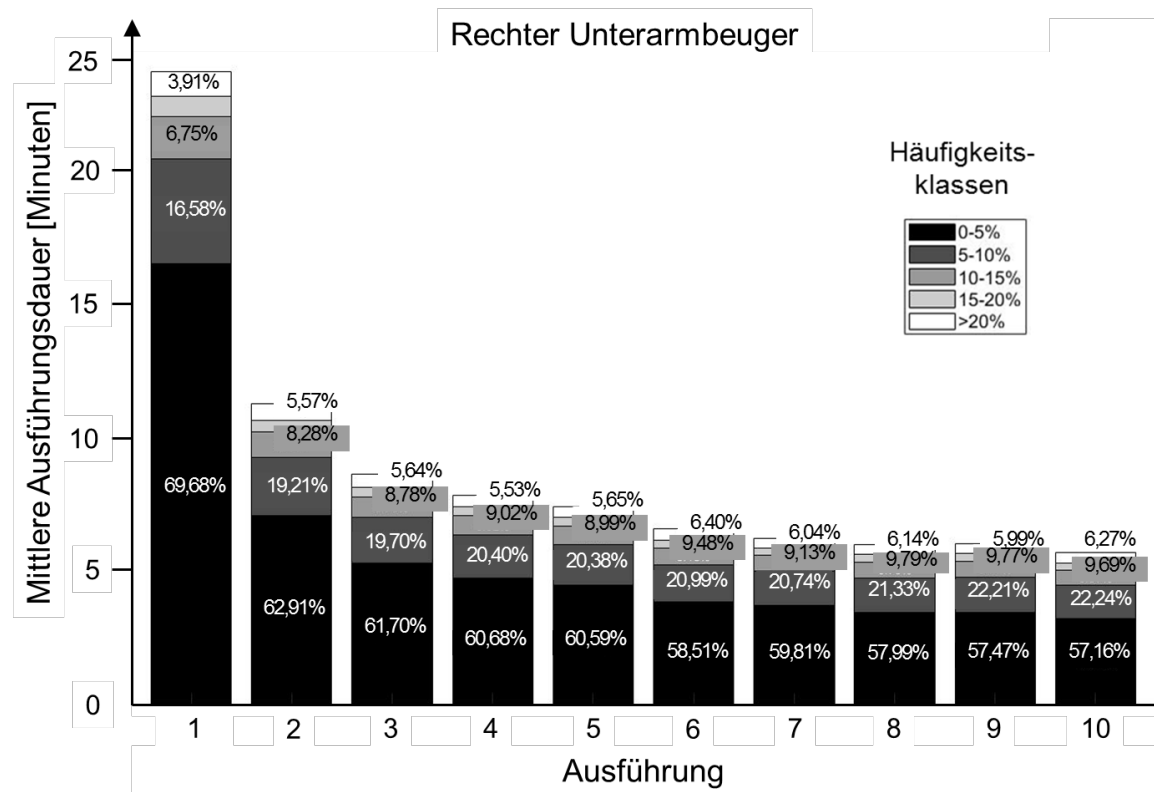


Abbildung 2: Relative Häufigkeiten der gemessenen durchschnittlichen normalisierten Spannungen am rechten Unterarmbeuger über die zehn Ausführungen

4. Diskussion und Kritik

Die Ergebnisse der Laboruntersuchung geben einen Hinweis darauf, dass größere muskuläre Beanspruchungen nicht durch die Übung einer sensumotorischen Arbeitsaufgabe gesenkt werden können. Vielmehr reduziert sich mit zunehmender Anzahl an Ausführungen der Anteil an geringen muskulären Beanspruchungen, wodurch es rechnerisch zu einer Erhöhung der gemittelten muskulären Beanspruchung mit zunehmender Anzahl an Ausführungen kommt. Die Reduktion kleiner muskulärer Beanspruchungen lässt sich vermutlich darauf zurückführen, dass Versuchspersonen mit zunehmender Anzahl an Ausführung weniger Gebrauch von bereitgestellten Arbeitsanleitungen machen (Kuhlenbäumer et al. 2016). Außerdem wenden sie tendenziell weniger Zeit dafür auf, sich im Arbeitsraum zu orientieren und Bauteile zu suchen. Sowohl das Lesen einer Anleitung als auch das Orientieren im Arbeitsraum führt zu keinen nennenswerten muskulären Beanspruchungen. Ein Hinweis darauf, dass die Altersgruppe oder die Pausendauer einen Einfluss auf die muskuläre Beanspruchung während der Anlernung einer sensumotorischen Arbeitsaufgabe hat, konnte nicht gefunden werden.

Bei der Interpretation der Ergebnisse sind Limitationen zu berücksichtigen. Diese Laboruntersuchung ist Teil eines Forschungsvorhabens, das es zum Ziel hat, die Zeitstruktur bei der Anlernung sensumotorischer Tätigkeiten zu modellieren und zu prognostizieren. Da die Verbesserung der persönlichen Arbeitsgestaltung Teil des Lernprozesses ist, wurde den Versuchspersonen keine Vorgehensweise (z.B. Montagereihenfolge) bei der Bearbeitung der Versuchsaufgabe vorgegeben. Dies erschwert jedoch die Beurteilung der muskulären Beanspruchung, da dadurch den gemessenen EMG-Werten keine eindeutige Belastung zugeordnet werden kann. Weiterhin erscheint die Wahl des isometrischen MVC-Verfahrens aufgrund der dynamischen Belastung zur Normierung der gemessenen Spannungen fragwürdig. Daher sollten zukünftig auch isokinetische Normalisierungsverfahren genutzt und hinsichtlich ihrer Eignung beurteilt werden. In dieser Studie wurden je Körperhälfte vier große Muskeln betrachtet. Bei sensumotorischen Arbeitsaufgaben werden jedoch hauptsächlich kleine Muskeln beansprucht (Göbel 1996). Die Messung kleiner Muskeln ist allerdings mit Oberflächenelektroden kaum umzusetzen. Zukünftige Untersuchungen sollten den Einsatz invasiver Messverfahren unter medizinischer Begleitung vorsehen.

5. Literatur

- Field A (2009) *Discovering Statistics Using SPSS*, 3rd edn. Sage, London.
- Göbel M (1996) *Elektromyografische Methoden zur Beurteilung sensumotorischer Tätigkeiten*. Dissertation an der RWTH Aachen.
- Hacker W, Skell W (1993): *Lernen in der Arbeit*. Bundesinstitut für Berufsbildung, Berlin.
- Iskander A (1968) *Über den Einfluß von Pausen auf das Anlernen sensumotorischer Fertigkeiten*, Beuth, Berlin/Köln/Frankfurt.
- Konrad P (2011) *EMG-Fibel: Eine praxisorientierte Einführung in die kinesologische Elektromyographie*. Noraxon INC. USA, 1.
- Kuhlenbäumer F, Przybysz P, Mütze-Niewöhner S, Schlick CM (2017) Age-differentiated Analysis of the Influence of Task Descriptions on Learning Sensorimotor Tasks. In: Schlick CM [und 6 weitere] (ed) *Advances in ergonomic design of systems, products and processes: proceedings of the Annual Meeting of GfA 2016*, 159-175
- Kuhlenbäumer F (2018) *Subjektiv empfundene Beanspruchung bei der Anlernung sensumotorischer Arbeitsaufgaben*. Unveröffentlichtes Arbeitspapier.
- Rohmert W, Rutenfranz J, Ulich E (1974) *Das Anlernen sensumotorischer Fertigkeiten*, Institut für Arbeitswissenschaft, TU Darmstadt. Frankfurt a. M.: Europäische Verlagsanstalt.
- Rohmert W (1983) *Formen menschlicher Arbeit*. In Rohmert W und Rutenfranz J (Hrsg.) *Praktische Arbeitsphysiologie*, Kapitel 2. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York.

Danksagung: Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung des Projekts „Altersbewältigung in manuellen Montagesystemen: Altersdifferenzierte Untersuchung und mathematische Modellierung zur Prognose der Zeitstruktur beim Erwerb sensumotorischer Fertigkeiten in der Montage bei produktvariantenreicher Serienfertigung“ (SCHL 1805/9-1). Ein ganz besonderer Dank gilt darüber hinaus unserer ehemaligen Kollegin Simone Polis für die Planung der Studie.



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