

Weiter-Entwicklung eines Verfahrens zur Belastungsanalyse am Arbeitsplatz – EVerBA

André KLUSSMANN¹, Jamal Nasir CHOUDHRY¹, Mirjam JOST²,
Björn KRYSTEK², Steffen TABELING², Boris TOLG², Johann POPP¹

¹ Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg,
Fakultät Life Sciences, FTZ-MGT, Department Gesundheitswissenschaften,
Labor für Arbeit und Gesundheit, Ulmenliet 20, 21033 Hamburg

² Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg,
Fakultät Life Sciences, FTZ-MGT, Department Medizintechnik,
Simulationslabor SIMLab, Ulmenliet 20, 21033 Hamburg

Kurzfassung: Physische Arbeitsbelastungen stellen einen wesentlichen Gefährdungsfaktor dar. Es wird betrachtet, wie objektiv, valide und reliabel sich mögliche Überbeanspruchungen des Muskel-Skelett-Systems durch betriebliche Messungen abschätzen lassen. Exemplarisch wird über die Test-Retest-Reliabilität einer Laborstudie berichtet. Sechs Proband:innen führten je zehn Bewegungsvorgänge mit jeweils acht Wiederholungen durch. Die Messungen benötigen sehr umfangreiche und zeitintensive Vorbereitungs- und Kalibrierungsmaßnahmen sowie Plausibilitätsüberprüfungen. Die Test-Retest-Reliabilität ist unter Laborbedingungen akzeptabel bis sehr gut. Pauschale Aussagen zur Objektivität, Validität und Reliabilität von betrieblichen Messungen sind jedoch kritisch zu sehen.

Schlüsselwörter: Physische Arbeitsbelastungen,
Gefährdungsbeurteilung, Test-Retest-Reliabilität, Betriebliche Messungen

1. Einleitung

Das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) verpflichtet Arbeitgeber insbesondere, die erforderlichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes zu treffen. Hierzu hat er die Arbeitsbedingungen zu beurteilen (Gefährdungsbeurteilung). D. h., Gefährdungen der Beschäftigten bei der Arbeit hat er zu beurteilen, dementsprechend erforderliche Maßnahmen zu ermitteln und zu treffen, diese Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen und erforderlichenfalls anzupassen. Hierüber muss der Arbeitgeber über die erforderlichen Unterlagen verfügen (Dokumentation), aus denen das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung, die von ihm festgelegten Maßnahmen des Arbeitsschutzes und das Ergebnis ihrer Überprüfung ersichtlich sind (ArbSchG 1996).

Zuvorderst ist die Arbeit so zu gestalten, dass eine Gefährdung für das Leben sowie die physische und die psychische Gesundheit möglichst vermieden und die verbleibende Gefährdung möglichst geringgehalten wird (ArbSchG 1996). Weiterhin stellen physische Arbeitsbelastungen einen wesentlichen Gefährdungsfaktor für Beschäftigte bei der Arbeit dar (LasthandhabV 1996). Physische Arbeitsbelastungen können zu Muskel-Skelett-Beschwerden und Erkrankungen (MSE) führen, die eine der Hauptursachen für krankheitsbedingte Arbeitsunfähigkeitstage darstellen. Um dem ent-

gegenzuwirken, stehen verschiedene „Ebenen“ von Verfahren für die Gefährdungsbeurteilung und die menschengerechte Arbeitsgestaltung zur Verfügung, zum Beispiel spezielle Screening-Verfahren (wie z. B. Teile vom mehrstufigen Leitmerkmalmethoden-Inventar, BAuA 2019) oder auch betriebliche Messungen (wie z. B. die messtechnisch unterstützten CUELA-Bewertungsansätze, DGUV 2020).

Während spezielle Screening-Verfahren überwiegend auf Beobachtungen und Videoanalysen basieren, nutzen betriebliche Messungen häufig Datensätze aus körpergetragenen Sensor-Systemen oder aus kamerabasierten Motion-Capturing-Systemen, mit denen Körperhaltungen und -bewegungen gemessen, aufbereitet und meist durch visuelle Videoanalysen verschiedener Blickrichtungen erweitert werden müssen. Dies häufig in Kombination mit Messung bzw. Schätzung der zusätzlichen Belastungen durch das Ausüben von Kräften (z. B. über Kraftsensoren/-messplatten und/oder Elektromyographie).

In der Literatur wird dargestellt, dass berufsbedingte Muskel-Skelett-Belastungen häufig komplex seien und sich nicht immer mit Beobachtungsverfahren analysieren ließen (Weber et al. 2022). Zur objektiven und detaillierten Erkennung von Belastungs- und Gefährdungsschwerpunkten würden daher mobile Messsysteme zur Anwendung am Arbeitsplatz empfohlen (Ranavolo et al. 2018, zitiert in Weber et al. 2022). Als direkte Messmethoden würden sich Systeme zur Bewegungserfassung (Motion Capture) beziehungsweise Elektromyographie (EMG) anbieten. Diese würden valide und reliable Analysen erlauben (Robert-Lachaine et al. 2017, zitiert in Weber et al. 2022). Zudem würden mobile Messsysteme zur Analyse von körperlichen Arbeitsbelastungen immer praktikabler (Weber et al. 2022).

Nach Ellegast (2010) waren die genauen Grundlagen der Bewertung einiger Ebenen zur Gefährdungsbeurteilung seinerzeit nicht sehr transparent offengelegt. Hier sollte – seiner Meinung nach – eine genauere Darstellung der Bewertungshintergründe angestrebt werden. Nur hierdurch wäre es möglich, gegebenenfalls noch vorhandene Kenntnislücken zu identifizieren.

In den Jahren 2013 bis 2018 wurde im Rahmen des Gemeinschaftsprojektes MEGAPHYS (Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz) Gefährdungsbeurteilungsverfahren für physische Arbeitsbelastungen mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad entwickelt. Auf der Ebene der speziellen Screening-Verfahren wurden sechs Leitmerkmalmethoden weiterentwickelt oder neu entwickelt und u. a. die Bewertungshintergründe umfangreich dargestellt sowie die Verfahren hinsichtlich Objektivität, Validität und Reliabilität getestet (BAuA 2019). Auf der Ebene der betrieblichen Messungen wurden messtechnisch unterstützte CUELA-Bewertungsansätze entwickelt (DGUV 2020).

Im Rahmen des EVerBA-Projektes wird betrachtet, wie objektiv, valide und reliabel sich mögliche Überbeanspruchungen des Muskel-Skelett-Systems durch betriebliche Messungen und auch durch Labormessungen/Forschung (wie z. B. Der Dortmund, DGUV 2020) abschätzen lassen. Im vorliegenden Beitrag wird zunächst über die Test-Retest-Reliabilität berichtet, welche in einer Laborstudie betrachtet wurde.

2. Methoden

Ein Bewegungslabor mit videobasiertem Motion-Capturing-System und körpergetragenen Sensor-System sowie Dreibein-Kraftmessplatten wird aufgebaut.

Mehrere Proband:innen führen einfache und komplexe Bewegungen mit mehreren Wiederholungen durch. Da Belastungen des Muskel-Skelett-Systems (MSS) insbesondere bei Pflegekräften relativ hoch sind, wurden hier exemplarisch u. a. die Mobilisierung von Menschen und das Arbeiten mit vorgebeugtem oder verdrehtem Oberkörper bei Teil-Tätigkeiten im Bereich der Pflege einbezogen:

- Bewegungsvorgang 1: Gewicht mit gestreckten Beinen hochheben
- Bewegungsvorgang 2: Gewicht mit gebeugten Beinen hochheben
- Bewegungsvorgang 3: Gewicht über den Kopf heben
- Bewegungsvorgang 4: Oberkörperrotation mit Eigengewicht
- Bewegungsvorgang 5: Gewicht nach vorne schieben
- Bewegungsvorgang 6: Gewicht zum Körper ziehen
- Bewegungsvorgang 7: Patienten drehen, Bett beziehen, tiefgestellte Betthöhe
- Bewegungsvorgang 8: Patienten drehen, Bett beziehen, optimale Betthöhe
- Bewegungsvorgang 9: Patienten an die Bettkante setzen, tiefgestellte Betthöhe
- Bewegungsvorgang 10: Patienten an die Bettkante setzen, optimale Betthöhe

Die Messdaten werden mit biomechanischen Modellen in wirksame Kräfte auf den unteren Rücken, die Schultern und die Knie umgerechnet. Als Bewertungsmaßstab werden kumulierte Belastungen in Newton-Sekunden (Ns) ermittelt. Zur Einschätzung der Reliabilität werden Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) für ein gemischtes Zwei-Wege-Modell berechnet. Für die Auswertungen mit den speziellen Screening-Verfahren wird die Leitmerkmalmethode Ganzkörperkräfte eingesetzt und Risikoscores ermittelt. Dazu werden die Proband:innen während der Ausübung der Teil-Tätigkeiten bzw. die Videoaufnahmen hierzu beobachtet.

3. Ergebnisse

Im Bewegungslabor führten sechs Proband:innen je sechs einfache und vier komplexe Bewegungen in jeweils acht Wiederholungen durch. Somit ergaben sich insgesamt 480 Datensätze. Unter den Teil-Tätigkeiten waren auch einfache Arbeitsgestaltungsmaßnahmen enthalten, wie z. B. das Aufrichten eines Patienten in einem tiefgestellten und in einem in optimaler Höhe eingestellten Patientenbett.

Die Messungen konnten mit einer Ausfallquote von 2,5 % durchgeführt werden, sodass insgesamt 468 auswertbare Datensätze vorlagen. Sie liefern zumeist plausible Daten, beinhalten aber auch einzelne Artefakte. Die Test-Retest-Reliabilität der Rückenbelastung für die verschiedenen Bewegungen wurde mit ICC von 0,726-0,941 berechnet, für die Schulterbelastung mit ICC von 0,607-0,930 und für die Belastung der Knie mit ICC von 0,627-0,948. Abbildung 1 stellt dies für die kumulierte Rückenbelastung detailliert dar.

In Abbildung 1 lässt sich die Streuung der Messungen zwischen den Proband:innen im Verhältnis der Streuungen von mehreren Messungen der jeweils gleichen Proband:innen erkennen. Die relative Varianz innerhalb der ProbandInnen ist bei den komplexen Bewegungen 7-10 etwas geringer als bei den einfachen Bewegungen 1-6. Das macht sich auch in den ICC von 0,839-0,941 gegenüber 0,726-0,875 bemerkbar.

Bei einigen Bewegungen (z. B. Bewegung 9) ist ein leichter Trainingseffekt zu erkennen, in dem Sinne, dass gemessenen Belastungen tendenziell mit wiederholten Durchführungen abnehmen. Dieser Trend ist jedoch nicht bei allen Bewegungen zu erkennen und bezieht sich zumeist auf die ersten vier Durchführungen.

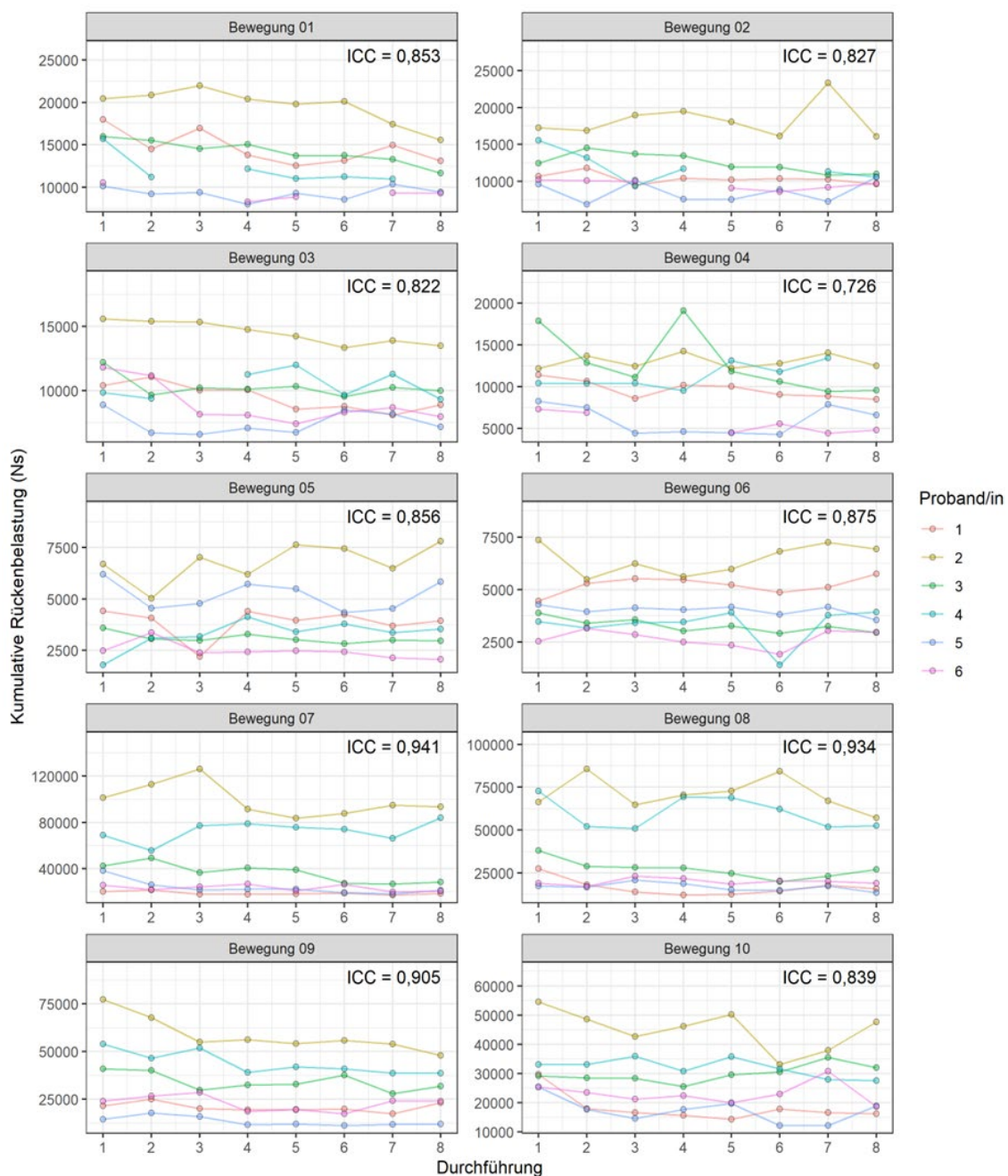


Abbildung 1: Kumulierte Rückenbelastung für die zehn untersuchten Bewegungsvorgänge (Intra-Klassen-Korrelation, ICC: Zwei-Wege-Zufallsmodell für einzelne Werte)

Die Test-Retest-Reliabilität lässt sich auch verbessern, wenn die Mittelwerte von mehreren Messungen der jeweils gleichen Proband:innen berücksichtigt werden (vgl. Tabelle 1).

Für die komplexen Bewegungen 7-10 sind bereits bei Verwendung des Mittelwertes von zwei Durchführungen die ICC der Rückenbelastung im Bereich $>0,9$. Die ICC der Rückenbelastung bei den einfachen Bewegungen 1-6 erreichen diesen Bereich bei Mittelwerten von vier Durchführungen.

Tabelle 1: Intraklassenkorrelation (ICC) der kumulierten Rückenbelastung für Einzelbeobachtungen im Vergleich zu Mittelwerten aus den ersten 2-4 Durchführungen

Bewegung	ICC Einzelwerte ^a	ICC Mittelwert 2 Durchf. ^b	ICC Mittelwert 3 Durchf. ^b	ICC Mittelwert 4 Durchf. ^b
1	0,853	0,907	0,962	0,975
2	0,827	0,922	0,908	0,952
3	0,822	0,923	0,936	0,953
4	0,726	0,874	0,876	0,918
5	0,856	0,816	0,885	0,923
6	0,875	0,872	0,952	0,968
7	0,941	0,979	0,983	0,985
8	0,934	0,935	0,961	0,978
9	0,905	0,983	0,971	0,974
10	0,839	0,924	0,943	0,966

^aZweiwege-Zufallsmodell für Einzelwerte^bZweiwege-Zufallsmodell für Mittelwerte

Bei den Messungen der Schulter- und der Kniebelastung werden für die komplexen Bewegungen ebenfalls mit Mittelwerten der ersten zwei Beobachtungen ICC >0,9 erreicht. Bei den einfachen Bewegungen werden hier mit Mittelwerten aus den ersten vier Durchführungen ICC >0,8 berechnet.

4. Diskussion

Die Messungen erfolgen zwar theoretisch automatisiert, benötigen jedoch sehr umfangreiche und zeitintensive Vorbereitungs- und Kalibrierungsmaßnahmen sowie Plausibilitätsüberprüfungen. Den Ausführungen von Weber et al., dass mobile Messsysteme zur Analyse von körperlichen Arbeitsbelastungen immer praktikabler würden (Weber et al. 2022), kann insofern bisher nicht zugestimmt werden.

Die Test-Retest-Reliabilität ist mit einem ICC von 0,604 bis 0,948 unter den hier gegebenen Laborbedingungen akzeptabel bis sehr gut. Durch Verwendung von Mittelwerten mehrerer Messungen lassen sie sich weiter verbessern. Trainings- und Ermüdungseffekte lassen sich in unserer Studie nur teilweise erkennen. Inwieweit die übrigen Varianzen durch Artefakte der Messung oder durch unterschiedliche Durchführungen der gleichen Bewegung bewirkt werden, ist noch weiter zu untersuchen. Bezogen auf die Belastungen der einzelnen Körperregionen liefern sie ein spezifischeres Bild als das eingesetzte spezielle Screening-Verfahren. Dies geht allerdings mit einem sehr hohen Aufwand einher.

Die von Ellegast (2010) bemängelten Lücken wurden im Bereich der messtechnischen Ebenen bisher nicht geschlossen. Auch den Darstellungen von Weber et al. (2022) kann nicht pauschal zugestimmt werden. Es gibt keine Hinweise, dass o.g. Messsysteme pauschal valide und reliable Analysen ergeben. Erfahrungen aus den hier dargestellten eigenen Untersuchungen zeigen, dass z. B. detaillierte Messprotokolle erforderlich sind, die z. B. Anzahl der Probanden, Anzahl der Messwiederholungen, Start- und Ende der Messungen, usw. explizit festlegen, damit die Ergebnisse objektiv nachvollzogen werden können. Anderenfalls kann faktisch fast jedes beliebige „Messergebnis“ erzielt und ein vorteilhaft erscheinendes, einzelnes Messergebnis in der Betriebs- oder Laborpraxis einfach „herausgegriffen“ werden, was keinesfalls für ein objektives Messverfahren sprechen würde. D. h., solche Vorgehensweisen müssen z. B. durch Verfahrensanweisungen ausgeschlossen werden, die integraler Bestandteil von Messverfahren und zu dokumentieren sind.

5. Fazit

Die Untersuchungen zeigen, dass einerseits der gleiche Proband den gleichen Bewegungsvorgang bei Wiederholungen an unterschiedlichen Tagen unterschiedlich ausführt, was jedoch durch Mittelwertbildung von 2 (besser 4) Messungen teilweise kompensiert werden kann. Dies gilt zumindest unter standardisierten Laborbedingungen und kann unter betrieblichen Praxisbedingungen stärker variieren, was eine höhere Anzahl an Messwiederholungen erforderlich machen würde. Hierbei ist zu diskutieren, ob dann der Mittelwert der Messungen oder z. B. das 95-Perzentil oder die Standardabweichung der bessere Betrachtungswert wäre.

Andererseits ist aufgefallen, dass beim Vergleich der Durchführung des gleichen Bewegungsvorgangs von unterschiedlichen Proband:innen es zu teilweise sehr hohen Varianzen in den physischen Belastungen (Intensität, Zeitdauer, Dosis) kommen kann. Dies scheint insbesondere abhängig von Körpergröße und Arbeitstechnik zu sein. Hierbei stellt sich u. a. zum Beispiel bei der Beurteilung der Belastungen eines Arbeitsplatzes auf verschiedene Mitarbeiter:innen die Frage des Mehrwertes komplexer Messungen im Vergleich zu speziellen Screening-Verfahren, wenn zwar in den einzelnen Messungen vermeintlich genaue Ergebnisse erzeugt werden, die individuellen Streuungen aber sehr hoch sind.

Die biomechanischen Messungen bilden zudem nur dann einen Mehrwert, wenn auch Bewertungsmodelle vorliegen, ab wann Belastungen z. B. „wesentlich erhöht“ oder „hoch“ sind, wie sie für alle Spezielle Screening-Verfahren des MEGAPHYS-Projektes (BAuA 2019) und vergleichbar auch im Risikokonzept der AMR (AMR 13.2 2022) definiert wurden.

6. Literatur

- ArbSchG (1996): Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz), BGBl. I S. 1246.
- LasthandhabV (1996): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der manuellen Handhabung von Lasten bei der Arbeit (Lastenhandhabungsverordnung), BGBl. I S. 1841, 1842
- BAuA (2019): MEGAPHYS – Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Band 1. F 2333. Hrsg.: BAuA, Dortmund
- DGUV (2020): MEGAPHYS: Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen am Arbeitsplatz (DGUV Report 3/2020). Band 2. Hrsg.: DGUV, Berlin
- Ellegast R (2010): Quantifizierung physischer Belastungen am Arbeitsplatz. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie. Volume 60, Seiten 386–389 (2010)
- Robert-Lachaine X, Mecheri H, Larue C, Plamondon A (2017): Validation of inertial measurement units with an optoelectronic system for whole-body motion analysis. Med Biol Eng Comput. 2017 Apr; 55 (4): 609–619.
- Ranavolo A, Draicchio F, Varrecchia T, Silvetti A, Iavicoli S (2018): Wearable Monitoring Devices for Biomechanical Risk Assessment at Work: Current Status and Future Challenges-A Systematic Review Int J Environ Res Public Health. 2018 Sep 13; 15 (9): 2001.
- Weber B, Heinrich K, Schiefer C, Hermanns-Truxius I, Ellegast R (2022): Die CUELA-Module. Standardisierte Messung und Bewertung physischer Belastungen. ASU 2022; 57 (12): 755–758
- AMR 13.2 (2022): Tätigkeiten mit wesentlich erhöhten körperlichen Belastungen mit Gesundheitsgefährdungen für das Muskel-Skelett-System. Arbeitsmedizinische Regel. GMBI Nr. 7 vom 25.02.2022, S. 154

Hinweis: Die Studie wurde gefördert von der IFB Hamburg und erhielt ein positives Votum der Ethikkommission der HAW Hamburg.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Nachhaltig Arbeiten und Lernen

**Analyse und Gestaltung lernförderlicher
und nachhaltiger Arbeitssysteme
und Arbeits- und Lernprozesse**

69. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

01. – 03. März 2023

GfA-Press

Bericht zum 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 01. – 03. März 2023

**Fakultät Maschinenbau, Institut für Berufswissenschaften der Metalltechnik (IBM) und
Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA), Leibniz Universität Hannover**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Sankt Augustin: GfA-Press, 2023
ISBN 978-3-936804-32-4

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

© 2023 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de