

Forschungsbedarfe zur kumulativen Belastung bei der Anwendung von Echtzeit-Feedback zur Verbesserung der individuellen Hebetechnik für die Primärprävention bei manueller Lastenhandhabung

Christopher BRANDL^{1,2}, Laura JOHNEN¹, Oliver BRUNNER¹, Verena NITSCH^{1,2}

*¹ Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University,
Eilfschornsteinstr. 18, D-52062 Aachen*

*² Forschungsabteilung Produkt- und Prozessergonomie, Fraunhofer-Institut für
Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE,
Campus-Boulevard 55, D-52074 Aachen*

Kurzfassung: Die manuelle Lastenhandhabung gilt als Hauptrisiko für arbeitsbedingte Muskel- und Skeletterkrankungen. Die Hebetechnik hat einen relevanten Einfluss auf die wirkenden Belastungen. Die Umsetzung wirksamer Unterweisungen für das Erlernen sachgemäßer Hebetechniken ist jedoch eine herausfordernde Aufgabe. In einer Studie mit 22 Probanden konnte nachgewiesen werden, dass die Anwendung von visuellem Echtzeit-Feedback der Bandscheibenkompressionsbelastung L5/S1 eine Verbesserung der Hebetechnik bewirken und damit die Wirksamkeit von Unterweisungen erhöhen kann. Ferner wird konkreter Forschungsbedarf zur Berücksichtigung kumulativer Belastung fallspezifisch aufgezeigt und diskutiert, denn obgleich die Literatur die kumulative Belastung als relevanten und unabhängigen Risikofaktor benennt, kann diese bislang noch nicht adäquat bei der Beurteilung berücksichtigt und entsprechend als Echtzeit-Feedback dargestellt werden.

Schlüsselwörter: kumulative Belastung, Echtzeit-Feedback, Hebetechnik, Primärprävention, Lastenhandhabung, Motion Capture

1. Einleitung

Ein Hauptrisiko für arbeitsbedingte Muskel- und Skeletterkrankungen stellt bekanntermaßen die manuelle Handhabung von Lasten dar (Anwer et al. 2021). Sofern eine Substitution manueller Lastenhandhabungen nicht umsetzbar ist, sind weitere geeignete Arbeitsschutzmaßnahmen zu treffen, damit eine Gefährdung von Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten möglichst geringgehalten wird. Darüber hinaus wird die allgemeine Unterweisungsanforderung des Arbeitsschutzgesetzes für Tätigkeiten mit manueller Lastenhandhabung durch die Lastenhandhabungsverordnung konkretisiert. Beschäftigten sind durch Arbeitgebende genaue Angaben über die sachgemäße Handhabung von Lasten und über die Gefahren, denen die Beschäftigten insbesondere bei unsachgemäßer Ausführung der Tätigkeit ausgesetzt sind, darzulegen. Im Einzelfall kann die Bandscheibenbelastung mit einer sachgemäßen Hebetechnik beim Anheben einer bspw. 10 kg schweren Kiste vom Boden über 40 % geringer sein als beim Aufheben einer Serviette vom Boden mit einer stark unsachgemäßen Hebetechnik. Die Belastung von Bandscheiben nimmt beim Heben

mit geradem Rücken durchschnittlich um ca. 20 % gegenüber einem Heben mit gebeugtem Rücken ab (Steinberg und Windberg 2008). Die Hebetechnik hat dementsprechend einen relevanten Einfluss auf die Ausprägung arbeitsbedingter Muskel- und Skeletterkrankungen und es ist mittels Unterweisungen zu erreichen, dass Beschäftigte eine sachgemäße Hebetechnik anwenden.

Die Umsetzung wirksamer Unterweisungen für das Erlernen sachgemäßer Hebetechniken bei manueller Lastenhandhabung ist jedoch eine herausfordernde Aufgabe, denn für das beabsichtigte Ziel der Prävention arbeitsbedingter Muskel- und Skeletterkrankungen gibt es immer noch nur begrenzte Erkenntnisse über deren Wirksamkeit (Denis et al. 2020). Eine mögliche Erklärung liefert das Phänomen des „trägen Wissens“, das beschreibt, dass Menschen ihr vorhandenes Wissen in der Praxis nicht unbedingt anwenden (Overton et al. 2016). Gemäß den Aussagen von Fachkräften für Arbeits- und Gesundheitsschutz wären Unterweisungen für die manuelle Lastenhandhabung oft wirksamer, wenn sie auf die Anforderungen der Tätigkeit zugeschnitten sind und praktische Elemente enthalten (McDermott et al. 2012). Insofern kann die Einbettung von individuellem Feedback und kontinuierlichen Wiederholungen in aktive Übungen förderliche Bedingungen für das wirksame Erlernen sachgemäßer Hebetechniken darstellen. Damit verbundene Aufwände hemmen jedoch eine flächendeckende Umsetzung in Betrieben.

2. Ansatz und Wirksamkeit von Echtzeit-Feedback

Vor dem beschriebenen Hintergrund wird die Anwendung von automatisiertem Echtzeit-Feedback zur Unterstützung betrieblicher Unterweisungen als geeigneter Ansatz angesehen. Hierbei wurden bereits unterschiedliche Systeme für die Erfassung relevanter Daten für das Feedback eingesetzt, bspw. Kamera- und Inertialmesssysteme zur Körperhaltungs- und -bewegungserfassung sowie Elektromyographie. So konnte nachgewiesen werden, dass Körperhaltungen, elektrische Muskelaktivität, biomechanische Kennwerte, Performance und Punktwerte von Ergonomiebewertungsverfahren zielgerichtet durch entsprechendes Echtzeit-Feedback beeinflusst werden können. Weiter wurde in vergangenen Studien auch das Feedback in Modalität (bspw. akustisch, taktil und visuell), Modalitätsanzahl (bspw. multimodal und unimodal) und Information (bspw. Intensität, Schwellwert und Zeitverlauf) variiert. Entsprechende Literaturquellen dieser Ansätze können der Einleitung von Brandl et al. (2022) entnommen werden.

Die Kombination aus makelloser Bewegungserfassung und biomechanischen Analysen wird bei der ergonomischen Bewertung manueller Lastenhandhabung bereits umfangreich angewendet (Gagnon et al. 2016; Mehrizi et al. 2017). Für die Unterweisung manueller Lastenhandhabung findet dieser Ansatz kaum Anwendung, obwohl zusätzlich nur eine entsprechende Informationsdarstellung in Echtzeit benötigt wird und die Anforderungen an die praktische Anwendbarkeit und die erforderliche Datengüte als hinreichend erfüllt angesehen werden dürfen (Brandl et al. 2022). Ein solches Echtzeit-Feedback ermöglicht Personen darüber hinaus, eine individuelle Hebetechnik anhand biomechanischer Parameter zu wählen und zu erlernen, anstatt sich auf die korrekte Ausführung einer festgelegten Hebetechnik zu konzentrieren.

Die maximale und die zeitkumulierte Kompressionsbelastung der Bandscheibe L5/S1 gelten als relevante Kriterien für die Beurteilung von Tätigkeiten mit manueller

Lastenhandhabung (Straker 2002) und stellen voneinander unabhängige Risikofaktoren für das Auftreten von Muskel- und Skeletterkrankungen dar (Norman et al. 1998). Anhand einer empirischen Studie mit 22 jungen männlichen Probanden wurde nachgewiesen, dass das visuelle Echtzeit-Feedback der als Kraft-Zeit-Diagramm (Abbildung 1) dargestellten Kompressionsbelastung der Bandscheibe L5/S1 erhebliche Vorteile bei der Verbesserung der Hebetechnik im Vergleich zu einer papierbasierten Referenzunterweisung oder keiner Unterweisung birgt (Brandl et al. 2022). So konnten beispielsweise Spitzen- und Durchschnittswerte der Kompressionsbelastung der Bandscheibe L5/S1 sowie Spitzenwerte der Rumpfbeugung beim Heben einer Kettensäge deutlich gesenkt werden. Das in Abbildung 1 gezeigte Kraft-Zeit-Diagramm ermöglicht im Vergleich zur Spitzenbelastung jedoch keine unmittelbare Information über die kumulierte Belastung.

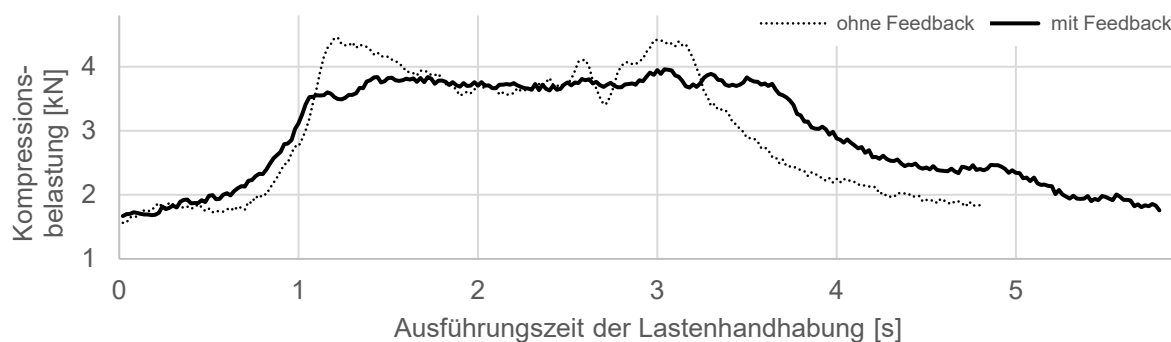


Abbildung 1: *Kompressionsbelastung der Bandscheibe L5/S1 eines Probanden als Kraft-Zeit-Diagramm bei der Ausführung der manuellen Lastenhandhabung als Informationsdarstellung für visuelles Echtzeit-Feedback.*

3. Problematik der kumulativen Belastung

Zur Berücksichtigung der kumulativen Belastung für die ergonomische Beurteilung wird die Verwendung einer sog. Dosis als Belastungsparameter empfohlen (Wells et al. 2004). Hierbei ist bekannt, dass ungewichtete Modelle zur Abbildung der Belastungskumulation während manueller Lastenhandhabung resultierende muskuläre, kardiovaskuläre und wahrgenommene Beanspruchungsindikatoren nicht adäquat reflektieren und das Gesundheitsrisiko bei mittleren und hohen Belastungsintensitäten unterschätzen (Johnen et al. 2022). Bislang ist jedoch noch nicht eindeutig geklärt, welches Modell unter welchen Bedingungen die beste Validität besitzt. Ergebnisse von in-vitro Versuchen an menschlichen Wirbelsäulen deuten auf ein überproportionales Risiko bei hohen Belastungsintensitäten hin (Brinckmann et al. 1988). Vor dem Hintergrund der Ergebnisse von Johnen et al. (2021) und der körpernahen Hebeaufgabe mit 5,8 kg Last in Brandl et al. (2022), die ein mittleres Belastungsniveau abbildet, soll entsprechend für die nachfolgende Betrachtung ein Modell zugrunde gelegt werden, in dem die Kraft quadriert wird. In Anlehnung an die Arbeiten von Jäger et al. (2014) wird außerdem für die Berechnung der kumulativen Belastung ein unterer Schwellwert definiert. Als Schwellwert wird der allgemeine Populationsgrenzwert der Kompressionsbelastung von 3,4 kN (bzw. 11,6 kN² für die quadrierte Kraft) angewendet. Belastungsintensitäten, die unter diesem Schwellwert liegen, gehen somit nicht in das Kumulationsmodell ein, da diese als akzeptabel gelten.

In Abbildung 2 ist die Anpassung der Informationsdarstellung mit einer quadrierten Kraftachse (rechts) im Vergleich zum ursprünglichen Kraft-Zeit-Diagramm (links) dargestellt. Es zeigt sich, dass die Darstellung mit quadrierter Kraft die Bereiche der Spitzenkompressionsbelastungen höher gewichtet als die ursprüngliche Darstellung. Dies wird insbesondere dadurch deutlich, dass der Abstand von Spitzenbelastungen zum Schwellwert (rote Linie) größer wird. Die Darstellung der Kompressionsbelastung als Kraft-Weg-Diagramm mit quadrierter Kraft erscheint gut – womöglich sogar besser – geeignet, um eine Beurteilung der Spitzenbelastung in Echtzeit vorzunehmen und die Hebetechnik entsprechend zu verbessern. Eine unmittelbare Beurteilung der resultierenden kumulativen Belastungen ist weiterhin nur schwierig möglich.

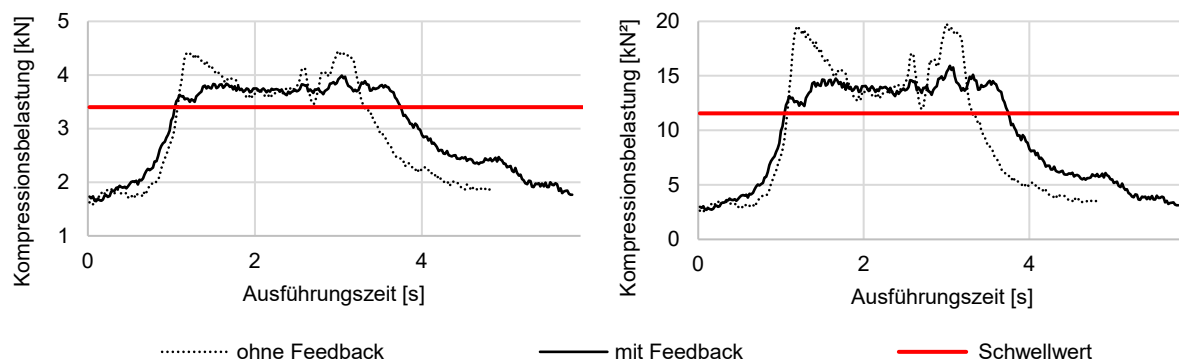


Abbildung 2: Lineare (links) und quadrierte (rechts) Kompressionsbelastung der Bandscheibe L5/S1 eines Probanden als Kraft-Zeit-Diagramm während der Ausführung einer manuellen Lastenhandhabung

Der in Brandl et al. (2022) beschriebene technische Ansatz zur Echtzeit-Erfassung der Kompressionsbelastung der Bandscheibe L5/S1 ermöglicht auch eine echtzeitfähige Berechnung der jeweiligen Belastungskumulation durch eine framewise Aufsummierung der Multiplikation von quadrierter Kraft und Framedauer. Die Anwendung der Belastungskumulation auf die quadrierten Kraftdaten eines Probanden (Abbildung 2, rechts) ergibt eine kumulative Gesamtbelastung von 34,9 kN²s für die Bedingung ohne Feedback und von 37,6 kN²s für die Bedingung mit Feedback. Der höhere Wert für die Bedingung mit Feedback erscheint trotz der deutlich geringeren Belastungsspitzen plausibel, weil die Ausführungsdauer insgesamt und über dem Schwellwert länger ist. Dies wird auch in Abbildung 3 ersichtlich, die den Zeitverlauf der kumulierten Belastung des Kumulationsmodells darstellt. Neben dem aktuellen Wert der Kompressionsbelastung könnte eine einfache Informationsdarstellung sowohl von Spitzen- als auch kumulative Belastung in Prozent einer vorherigen Ausführung oder Referenzausführung abgebildet werden. Diese Darstellungsform wäre als Echtzeit-Feedback geeignet, umsetzbar und bietet einen für eine Anpassung bzw. Verbesserung der Hebetechnik erforderlichen Vergleich. Hierdurch lässt sich auch die Problematik umgehen, dass für die kumulative Belastung keine validen Grenzwerte, bspw. in Form von einer Stunden- oder Tagesdosis zur Verfügung stehen.

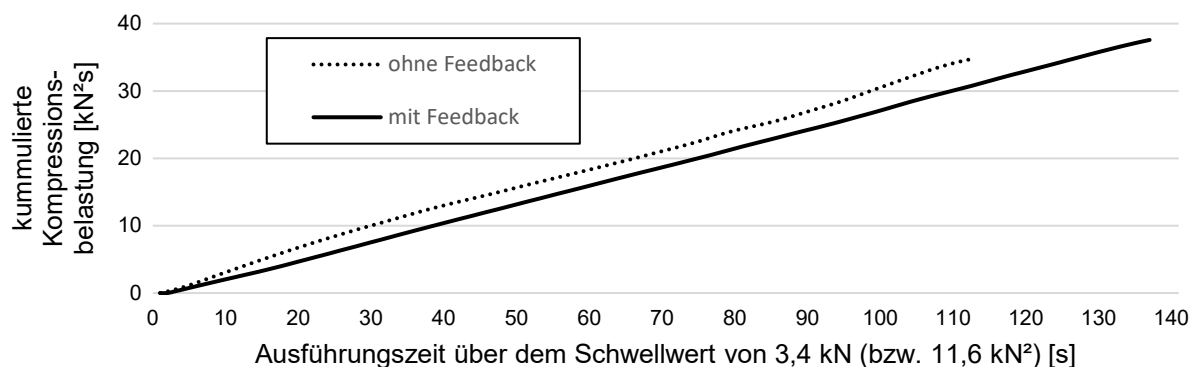


Abbildung 3: Darstellung der kumulativen Belastung im Zeitverlauf auf Grundlage eines quadrierten Kumulationsmodells mit einem Schwellwert von 3,4 kN (bzw. 11,6 kN²)

4. Diskussion und Schlussfolgerung

Echtzeit-Feedback der als Kraft-Zeit-Diagramm dargestellten Kompressionsbelastung der Bandscheibe L5/S1 ermöglicht Personen eine Verbesserung der individuellen Hebetechnik (Brandl et al. 2022). Damit wird die Umsetzung wirksamer Unterweisungen für das Erlernen sachgemäßer Hebetechniken bei manueller Lastenhandhabung unterstützt und kann für die Unterweisung manueller Lastenhandhabungen, Hebeschulungen oder gar On-the-Job-Trainings eine sinnvolle Ergänzung darstellen. Bei der Implementierung solcher Ansätze besteht ein individueller Gestaltungsspielraum, der insbesondere von betrieblichen Rahmenbedingungen und technischen Limitationen abhängig ist. So kann das Echtzeit-Feedback bei klassischen Schulungen der Lastenhandhabung durch interaktive Elemente unterstützen, wodurch das Erfahrungswissen und die Flexibilität geschulter Trainer*innen mit der ermüdungsfreien Genauigkeit und Schnelligkeit der biomechanischen Berechnungen kombiniert wird. Nach einer solchen durch Trainer*innen begleiteten Erstunterweisung bietet sich bspw. die Möglichkeiten, erforderliche Wiederholungen sogar ohne Trainer*innen durchzuführen oder Hebetrainingsterminals zur Eigenutzung im Betrieb einzurichten. So ist bspw. auch vorstellbar, dass solche Systeme direkt am Arbeitsplatz genutzt werden und mittels des Echtzeit-Feedbacks die direkte Arbeitsausführung verbessern.

Die Informationsdarstellung als Kraft-Zeit-Diagramm lässt jedoch nur mittelbare Rückschlüsse auf die kumulative Belastung zu, die als unabhängiger Risikofaktor zu berücksichtigen ist. Die grundlegende Problematik für die Berücksichtigung der kumulativen Belastung liegt an der Erkenntnis, dass unklar ist, welches Kumulationsmodell das Risiko für arbeitsbedingte Muskel- und Skeletterkrankungen am besten abbildet. Ohne die Kenntnis eines adäquaten Kumulationsmodells kann jedoch kein geeigneter Grenzwert für eine Dosis, bspw. eine „Tagesdosis“ abgeleitet werden (Johnen et al. 2022). Insofern zeigt sich umfassender Forschungsbedarf zur kumulativen Belastung bei manueller Lastenhandhabung, deren Ergebnisse auch für die Beurteilung anderer biomechanischer Einwirkungen, wie Körperhaltungen, erhöhte Kraftanstrengung und repetitive Tätigkeiten, von hohem Interesse sein dürfte. Für relative Vergleiche kumulativer Belastungen lassen sich jedoch auch jetzt schon passende Informationsdarstellungen umsetzen, um bspw. verschiedene Hebetekniken miteinander vergleichen zu können.

5. Literaturverzeichnis

- Anwer S, Li H., Antwi-Afari MF, Wong A, Yu L (2021): Associations between physical or psychosocial risk factors and work-related musculoskeletal disorders in construction workers based on literature in the last 20 years: A systematic review. In: *International Journal of Industrial Ergonomics* 83 (12), S. 103113. DOI: 10.1016/j.ergon.2021.103113.
- Brandl C, Brunner O, Marzaroli P, Hellig T, Johnen L, Mertens A et al. (2022): Using real-time feedback of L5/S1 compression force based on markerless optical motion capture to improve the lifting technique in manual materials handling. In: *International Journal of Industrial Ergonomics* 91, S. 103350. DOI: 10.1016/j.ergon.2022.103350.
- Brinckmann P, Biggemann M, Hilweg D (1988): Fatigue fracture of human lumbar vertebrae. In: *Clinical Biomechanics* 3 Suppl 1, i-S23. DOI: 10.1016/S0268-0033(88)80001-9.
- Denis D, Gonella M, Comeau M, Lauzier M (2020): Questioning the value of manual material handling training: a scoping and critical literature review. In: *Applied ergonomics* 89, S. 103186. DOI: 10.1016/j.apergo.2020.103186.
- Gagnon D, Plamondon A, Larivière C (2016): A biomechanical comparison between expert and novice manual materials handlers using a multi-joint EMG-assisted optimization musculoskeletal model of the lumbar spine. In: *Journal of biomechanics* 49 (13), S. 2938–2945. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2016.07.009.
- Jäger M, Jordan C, Voß J, Bergmann A, Bolm-Audorff U, Ditchen D. et al. (2014): Erweiterte Auswertung der Deutschen Wirbelsäulenstudie. In: *Zbl Arbeitsmed* 64 (3), S. 151–168. DOI: 10.1007/s40664-014-0032-6.
- Johnen L, Mertens A, Nitsch V, Brandl C (2021): Comparison of Dose Models for the Assessment of Spinal Load and Implications for the Calculation of Cumulative Loading. In: Nancy L. Black, W. Patrick Neumann und Ian Noy (Hg.): *Proceedings of the 21st Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2021)*, held online on June 13-18, 2021. Volume IV: Healthcare and Healthy Work, Bd. 222. Cham: Springer International Publishing (Lecture Notes in Networks and Systems), S. 93–100.
- Johnen L, Mertens A, Nitsch V, Brandl C (2022): Why cumulative loading calculated using non-weighted integration may not be suitable for assessing physical stress of the lower back: an empirical investigation of strain during lifting and lowering tasks. In: *Ergonomics* 65 (1), S. 134–146. DOI: 10.1080/00140139.2021.1962547.
- McDermott H, Haslam C, Clemes S, Williams C, Haslam R (2012): Investigation of manual handling training practices in organisations and beliefs regarding effectiveness. In: *International Journal of Industrial Ergonomics* 42 (2), S. 206–211. DOI: 10.1016/j.ergon.2012.01.003.
- Mehrizi R; Xu X, Zhang S, Pavlovic V, Metaxas D, Li K (2017): Using a marker-less method for estimating L5/S1 moments during symmetrical lifting. In: *Applied ergonomics* 65, S. 541–550. DOI: 10.1016/j.apergo.2017.01.007.
- Norman R, Wells R, Neumann P, Frank J, Shannon H, Kerr M (1998): A comparison of peak vs cumulative physical work exposure risk factors for the reporting of low back pain in the automotive industry. In: *Clinical Biomechanics* 13 (8), S. 561–573. DOI: 10.1016/S0268-0033(98)00020-5.
- Overton M, Reynolds E, Clark N, Bhana H, Mulligan H, Elliott K, Minnoch P (2016): Physical activity levels and injury prevention knowledge and practice of a cohort of carpentry students. In: *NZJP* 44 (2), S. 84–90. DOI: 10.15619/NZJP/44.2.03.
- Steinberg U, Windberg H-J (2008): Heben und Tragen ohne Schaden. [Online-ausg. der] 5., unveränd. [gedr.] Aufl. Dortmund: Baua.
- Straker L (2002): A review of research on techniques for lifting low-lying objects: 1. Criteria for evaluation. In: *Work (Reading, Mass.)* 19, S. 9–18.
- Wells R, van Eerd D, Hägg G (2004): Mechanical exposure concepts using force as the agent. In: *Scandinavian journal of work, environment & health* 30 (3), S. 179–190. DOI: 10.5271/sjweh.778.

Förderhinweis: Diese Arbeit wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung durch das Projekt workHEALTH (Förderkennzeichen 01EC1905B) und von der Stiftung Innovation in der Hochschullehre (Förderkennzeichen FRFMM-379/2022) unterstützt.



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