

„Revidierte Dortmunder Richtwerte“ – Empfehlungen zur Maximalbelastung des unteren Rückens beim Handhaben von Lasten auf Basis der Kompressionsfestigkeit isolierter Wirbelsäulensegmente

Matthias JÄGER

*IfADo – Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund
Ardeystr. 67, D-44139 Dortmund*

Kurzfassung: In einem biomechanischen Bewertungsansatz physischer Belastungen des unteren Rückens werden Druckkräfte an Bandscheiben oder Wirbelkörpern der Lendenwirbelsäule mit deren Kompressionsfestigkeit verglichen. Dazu wurden 2001 die „Dortmunder Richtwerte“ als Empfehlungen zur maximalen Kompressionsbelastung lumbaler Segmente beim Handhaben von Lasten vorgestellt. Anhand einer systematischen Literaturrecherche insbesondere zu zwischenzeitlichen Festigkeitsmessungen wurde die zugrundeliegende Datensammlung aktualisiert und erheblich erweitert. Auf Basis geschlechtsspezifischer Altersregressionen variieren die „Revidierten Dortmunder Richtwerte“ zwischen 5,4 und 2,2 kN für Männer von 20 bzw. 60 Jahren, für Frauen zwischen 4,1 und 1,8 kN; darin enthalten ist eine präventionsorientierte Reduktion der empfohlenen Maximalbelastungen für junge Erwachsene.

Schlüsselwörter: Arbeitsgestaltung, Maximalbelastung, unterer Rücken, Handhaben von Lasten, Revidierte Dortmunder Richtwerte

1. Hintergrund: NIOSH's *Work Practices Guide for Manual Lifting*

Bereits im Jahr 1981 stellte das Nationale Institut für Arbeitssicherheit und Arbeitsmedizin der USA (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) einen umfassenden und fundierten Leitfaden für die Beurteilung und Gestaltung manueller Hebetätigkeiten vor: den sogenannten *Work Practices Guide for Manual Lifting* (WPG: NIOSH 1981). Dieser präventionsorientierte Ratgeber beschreibt einerseits die Belastung des unteren Rückens, andererseits resultierende Überlastungszeichen und basiert auf epidemiologischen, physiologischen, psychophysikalischen sowie biomechanischen Erkenntnissen und Bewertungsansätzen. In den 90er Jahren wurde das Anwendungsspektrum um beispielsweise asymmetrisches Heben erweitert (Waters et al. 1993). Im ursprünglichen WPG ist ein – die komplexen Zusammenhänge des Menschen bei Hebearbeit sehr vereinfachender – Rechenalgorithmus zur Bestimmung eines empfohlenen maximalen Lastgewichts enthalten, der nachfolgend als *Revised NIOSH Lifting Equation* bezeichnet wird. In der Folgezeit flossen Derivate des NIOSH-Verfahrens in die Normgebung ein (ISO 11228-1, EN 1005-2), mit denen vergleichsweise kurzzeitige Belastungen einzelner Vorgänge oder Schichten hinsichtlich des Überlastungsrisikos bewertet werden können.

Dem NIOSH-Verfahren liegt als biomechanisches Kriterium zur Bewertung der Belastung des unteren Rückens beim Heben von Lasten ein für alle Arbeitspersonen einheitlicher Maximalwert von 3,4 Kilonewton (kN) für die Druckkraft auf die unterste

Bandscheibe der Wirbelsäule, dem Lenden-Kreuzbein-Übergang, zugrunde. Die Durchsicht der Begründungsbeschreibungen in den entsprechenden Literaturquellen zu Messungen der Druckfestigkeit von human-lumbalem Autopsiematerial offenbarte allerdings eine Reihe von Inkonsistenzen, die jenes biomechanische Kriterium als allenfalls schwach begründet erscheinen lässt (Jäger & Luttmann 1999). Nachfolgende Datenkompilierungen des IfADo führten zu einer deutlich umfangreicheren und „bereinigten“ Datensammlung zur (quasi-)statischen Kompressionsfestigkeit isolierter Segmente der Lendenwirbelsäule – die eher langfristig relevante Belastbarkeit bei wiederholten Belastungen bleibt hier außen vor und wird mit Hilfe kumulativer Dosismodelle geprüft. Daraus wurden alters- und geschlechtsabhängige Empfehlungen zur maximalen Belastung beim Handhaben von Lasten oder Ausüben von Aktionskräften abgeleitet: die *Dortmunder Richtwerte* (Jäger 2001). Innerhalb des aktuellen Kooperationsvorhabens *MEGAPHYS – Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen* sollte der Datensatz um zwischenzeitlich neu verfügbare Messergebnisse ergänzt und die Anpassung der *Dortmunder Richtwerte* geprüft werden.

2. Methodik: Literaturrecherche zur Druckfestigkeit und Datenselektierung

Anhand von 15 gebräuchlichen und in früheren Erhebungen verwendeten Begriffen wie „statische Kompressionsfestigkeit“ oder „Versagenslast“ neben „Lendenwirbelsäule“ oder „lumbal“ sowie der englischen Entsprechungen wie „ultimate compressive strength“ usw. wurde eine systematische Literatursuche über Scirus, Google Scholar und PubMed durchgeführt (Jäger 2018). Zudem wurde als weiterer Startpunkt ein Forschungsbericht der BAuA (Huber et al. 2005) sowie als wesentliche „Keimzelle“ nachfolgender Suchvorgänge eine Münchner Dissertation gefunden (Fischbeck 2006). Nach Prüfung der Titel wurden gegebenenfalls Abstracts, Volltexte und Literaturangaben auf potentielle Passung geprüft. Ausgehend von der jeweiligen Literaturliste wurden gegebenenfalls wiederum Abstracts, Volltexte und Literaturangaben durchgesehen; diese Suchschleife wurde dreimal wiederholt.

Die neu gefundenen Literaturquellen wurden dahingehend geprüft, ob im Text, in Tabellen oder in Diagrammen Werte zur humanen (quasi-)statischen lumbalen Kompressionsfestigkeit enthalten sind. In einem zweiten Schritt wurden beispielsweise gewichtete Mittelwerte ebenso aussortiert wie die Ergebnisse zu Einzelmessungen, die an Segmenten unzureichender Größe erhoben wurden; als Mindestmaß wurde ein isolierter Wirbelkörper bzw. eine Bandscheibe einschließlich der angrenzenden Deckplatten vorausgesetzt, da die von den oberen zu den unteren Körperteilen weiterzuleitenden Kräfte durch jene Elemente des Achsenorgans übertragen werden. Eine letzte Datenselektierung erfolgte dahingehend, dass nur Einzelwerte in der Zusammenstellung verblieben, bei denen sowohl das Geschlecht als auch das Alter der Spenderperson dokumentiert waren und letzteres mindestens 20 Jahre betrug.

Ausgehend von den verbliebenen geschlechtsspezifischen Datenkollektiven wurden lineare Regressionsrechnungen über dem Alter der Spenderperson durchgeführt. Da derartige Regressionsgeraden wie altersabhängige Mittelwerte aufgefasst werden können, sollten Empfehlungen zur Maximalbelastung einen geringeren Wert aufweisen, um das individuelle Überlastungsrisiko bei vorgegebenem Alter und Geschlecht zu verringern. Analog zur Vorgehensweise bei Ableitung der früheren Empfehlungen basieren auch die *Revidierten Dortmunder Richtwerte* auf geschlechtsspezifischen Altersregressionen, vermindert um den Wert einer Standardabweichung des jeweiligen Unterkollektivs (Männer / Frauen ≥ 20 J.). Da die Festigkeit in einem

Altersbereich ab 60 Jahren eine nur geringfügige Altersabhängigkeit aufweist, wurden wie seinerzeit einheitliche Werte für ältere Männer bzw. Frauen ab 60 Jahren vorgesehen.

Die Überarbeitung der Datenbasis der *Dortmunder Richtwerte* wurde auch dazu genutzt, die für das Handhaben von Lasten empfohlenen Maximalbelastungen für junge Erwachsene zu modifizieren. Ausgehend von der berechneten „Altersdegression“ der lumbalen Belastbarkeit wurde für junge Männer und Frauen präventiv eine zusätzliche Reduktion der empfohlenen Maximalbelastungen vorgesehen, da das skelettale Wachstum im Alter von 20 Jahren möglicherweise noch nicht abgeschlossen ist (Junghanns 1979, Krämer 1994). Die Erfahrungen aus Diskussionen um die Anwendung der *Dortmunder Richtwerte* bei jungen Erwachsenen führten zu dieser Änderung, um Missinterpretationen und Fehlanwendungen zukünftig vorzubeugen.

3. Ergebnisse: Datenkompilierung

Durch die aktuelle Literaturrecherche wurden 66 neue Literaturstellen zusammengetragen und in Hinsicht auf die lumbale Kompressionsfestigkeit kategorisiert:

- 11 Literaturquellen mit hier nutzbaren Werten
- 25 Literaturquellen mit aktuell nicht nutzbaren Werten (z. B. erhoben an zu kleinen Präparaten wie Wirbelkörper-Scheiben oder -zylindern)
- 23 Literaturstellen ohne für uns nutzbare Werte (z. B. erhoben an Schafen)
- 7 Literaturstellen ohne Werte (z.B. via CT erhobene Wirbelkörperfrakturen)

Unter Hinzunahme der vormalig zusammengetragenen Literaturquellen ergaben sich aktuell 83 prinzipiell nutzbare Literaturquellen (d. h. 36 mehr als 2001). Aufgrund von Nebenbedingungen wie beispielsweise zur Segmentgröße verblieben 36 Quellen (plus 11), die ausschließlich oder unter anderem Einzelwerte der humanen lumbalen (quasi-)statischen Kompressionsfestigkeit enthalten. Der Gesamtumfang der getesteten Präparate beträgt aktuell 6.046 anstatt 2.517 in der Zusammenstellung von 2001. Die in den Quellen genannten Angaben zur Festigkeit umfassen insgesamt 3.814 anstatt zuvor 2.087 Werte, von denen die in dieser Arbeit vereinbarten Kriterien 1.192 im Vergleich zu vormals 776 Präparattestungen erfüllen (plus 416). In Abbildung 1 sind zusammenfassende Ergebnisse in Form von Verteilungen der Festigkeitswerte dargestellt: die Datenbasis von NIOSH (1981: 27 Werte aus 2 Quellen) sowie die Datensammlungen des IfADo (Dortmund 2001 bzw. 2017).

Wie anhand der Darstellung verdeutlicht, wird der frühere Befund einer weiten Streuung der Festigkeit des biologischen Materials „Lendenwirbelsäule“ bestätigt: Mittelwert und Standardabweichung der 2001er Datensammlung betragen $5,1 \pm 1,8$ kN, während die aktuelle Kompilierung $4,4 \pm 2,6$ kN aufweist. Wird die zusammengefasste Datensammlung „Dortmund 2001 plus 2017“ zugrunde gelegt, ergeben sich $4,8 \pm 2,5$ kN für Mittelwert und Standardabweichung.

4. Ergebnisse: Alters- und Geschlechtsabhängigkeit der lumbalen Festigkeit

Die Durchsicht der Angaben in den jeweiligen Literaturquellen zeigt, dass die für die Arbeitsgestaltung nutzbaren Einflussgrößen Alter und Geschlecht der Spenderpersonen nicht durchgängig dokumentiert sind. Mit einem Spenderalter ab 20 Jahren

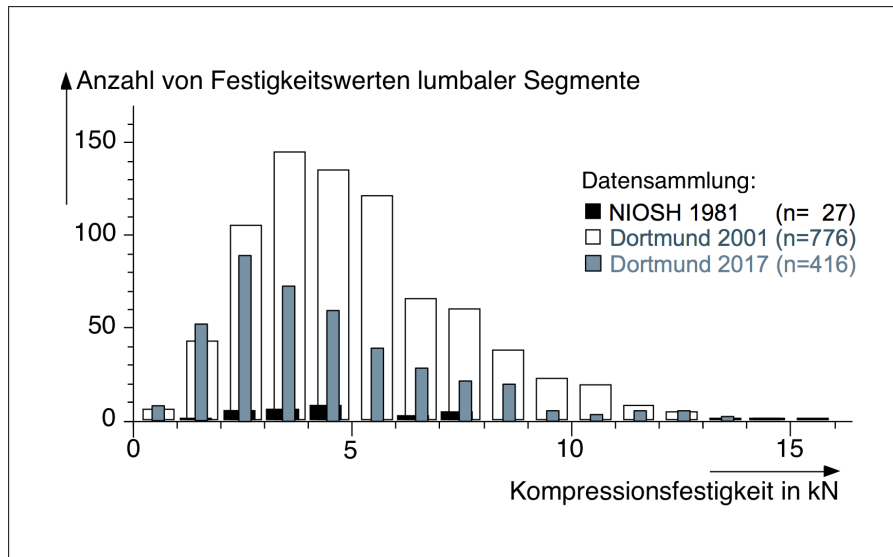


Abbildung 1: Verteilungen von Messergebnissen zur (quasi-)statischen Kompressionsfestigkeit von Autopsiematerial der Lendenwirbelsäule aus 2 früheren Datensammlungen (nach Jäger et al. 2001), ergänzt um die 2017 abgeschlossene Kompilierung

sind in der aktuellen, um die vormalig erhobenen Ergebnisse ergänzten Datensammlung 541 Messergebnisse verbunden (plus 39). Mittelwert und Standardabweichung der Kompressionsfestigkeit lumbaler Segmente betragen für Männer $6,1 \pm 2,7$ kN ($n = 305$; plus 30) und für Frauen $4,0 \pm 1,8$ kN ($n = 205$; plus 9).

Die nachfolgenden geschlechtsspezifischen Regressionsrechnungen der Festigkeit von Lendenwirbelsäulenpräparaten über dem Spenderalter zeigen, dass die (quasi-)statische lumbale Kompressionsfestigkeit von Wirbelsäulensegmenten männlicher Spender um nahezu 1 kN pro Altersdekade abnimmt, bei Lumbalsegmenten weiblicher Spender um etwa $\frac{2}{3}$ kN pro Altersdekade (0,923 vs. 0,685 kN pro 10 Jahre). Aufgrund der insgesamt höheren Kompressionsfestigkeit bei Männern (Achsenabschnitt des Regressionsmodells: 10,43 vs. 7,65 kN) ist sie trotz der höheren altersbedingten Abnahme auch in höherem Alter noch etwas höher als die Kompressionsfestigkeit von Wirbelsäulensegmenten weiblicher Spender.

5. Empfehlungen zur Maximalbelastung: „Revidierte Dortmunder Richtwerte“

Wie in Tabelle 1 dargestellt, variieren die *Revidierten Dortmunder Richtwerte* aufgrund der zuvor beschriebenen Nebenbedingungen zwischen 5,4 und 2,2 kN für jüngere bzw. ältere Männer sowie zwischen 4,1 und 1,8 kN für jüngere bzw. ältere Frauen. Somit werden für Frauen insgesamt niedrigere Maximalbelastungen empfohlen als für Männer sowie für Ältere niedrigere als für Jüngere. Die *Revidierten Dortmunder Richtwerte* folgen somit dem biologischen Verhalten des Körperareals „Lendenwirbelsäule“. Daher werden diese Orientierungswerte als biomechanisch begründete, aus der (quasi-)statischen Kompressionsfestigkeit von isolierten Wirbelsäulensegmenten abgeleitete Empfehlungen zur maximalen Kompressionsbelastung an lumbalen Wirbelkörpern und Bandscheiben beim Handhaben von Lasten oder Ausüben von Aktionskräften aufgefasst; sie stellen ein in Fragestellungen der Arbeitsgestaltung einfach anwendbares Kriterium zur Bewertung physischer Expositionen bezüglich der damit einhergehenden Belastung des unteren Rückens dar.

Tabelle 1: Die Revidierten Dortmunder Richtwerte – biomechanisch begründete Empfehlungen zu maximalen Kompressionskräften an Bandscheiben und Wirbelkörpern der Lendenwirbelsäule beim Handhaben von Lasten oder Ausüben von Aktionskräften

Revidierte Dortmunder Richtwerte		
<i>Empfehlungen zur maximalen lumbalen Kompressionsbelastung beim Handhaben von Lasten</i>		
Alter	Frauen	Männer
20 Jahre	4,1 kN	5,4 kN
30 Jahre	3,8 kN	5,0 kN
40 Jahre	3,1 kN	4,0 kN
50 Jahre	2,4 kN	3,1 kN
≥ 60 Jahre	1,8 kN	2,2 kN

6. Anwendungs- und Interpretationsgrenzen

Die Aussagekraft des vorgestellten Bewertungsansatzes, der auf einen Vergleich von Druckkräften an Wirbelkörpern oder Bandscheiben der Lendenwirbelsäule und deren Strukturfestigkeit abzielt, bedarf einer Kommentierung. Gemeinhin werden sowohl Belastungsindikatoren als auch Belastbarkeitsgrenzen indirekt bestimmt: Üblicherweise wird die Belastung mit Hilfe biomechanischer Modelle von Skelett und muskulärer Aktivierung, d.h. via Simulation berechnet, da eine direkte Messung allenfalls unter klinischer Kontrolle und nicht routinemäßig im Berufsalltag erfolgen kann (z. B. Nachemson & Morris 1964; Wilke et al. 1999; Damm et al. 2017). Zudem wird die Charakterisierung der Belastung im hier zugrundeliegenden Zusammenhang einer Engpassbetrachtung auf eine einzige Kenngröße „Druckkraft“ an einer einzigen Bandscheibe reduziert, obwohl gleichzeitig auch Scherkräfte, Torsions- und Beugemomente wirken und dies entlang der gesamten Lendenwirbelsäule; des Weiteren unterliegen auch umgebende Muskulatur und Bänder gegebenenfalls hohen Belastungen. Auch die lumbale Belastbarkeit wurde nicht am Lebendem, sondern indirekt anhand von Messungen an Autopsiematerial ermittelt und zudem nur in Hinsicht auf Kompression quantitativ beschrieben und bewertet. Somit können mit einem derartigen Vorgehen beispielsweise weder die „wahren“ Ursachen für bandscheibenbedingte Erkrankungen noch die Risiken für Folgen wie Ermüdung der Rückenmuskulatur mit eventuellen, eher kurz- bis mittelzeitig bestehenden unspezifischen Rückenschmerzen ergründet werden. Umfassendere Gefährdungsanalysen sollten – neben biomechanischen – physiologische und psychisch relevante Belastungsfaktoren sowie auch arbeitsumgebungsbezogene und individuelle Risikofaktoren einbeziehen.

7. Schlussfolgerungen

Insgesamt fokussiert die vorgestellte Vorgehensweise „lediglich“ auf biomechanische Zusammenhänge und dient als ein „Surrogatansatz“, der weder eine umfas-

sende physiologische Beurteilung der Beanspruchung des unteren Rückens darstellen noch die zumeist multifaktorielle Entstehung von Veränderungen, Verletzungen, Schäden, Beeinträchtigungen, Schmerzen oder Erkrankungen erklären kann. Trotz dieser Einschränkungen scheint eine die zugrundeliegenden Grenzen bedenkende Anwendung der *Revidierten Dortmunder Richtwerte* angemessener als eine Nichtberücksichtigung. Diese aus einer erweiterten und somit fundierteren Datenbasis abgeleiteten Empfehlungen zur Maximalbelastung bei Lastenhandhabung oder Kraftausübung sollen dazu beitragen, Arbeitssituationen des Berufsalltags mit vermutlich zu hoher Belastung des unteren Rückens einfach und schnell zu identifizieren, um sie im Sinne der Prävention zukünftig zu vermeiden.

8. Literatur

- Damm P, Kutzner I, Bergmann G, Rohlmann A, Schmidt H (2017) Comparison of *in vivo* measured loads in knee, hip and spinal implants during level walking. *J Biomech* 51:128-132.
- EN 1005-2, European Committee for Standardization, CEN (2003) Safety of machinery. Human physical performance. Part 2: Manual handling of machinery and component parts of machinery.
- Fischbeck M (2006) Mechanische Kompetenz und Knochendichte thorakolumbalen Wirbelkörper beim älteren Menschen. Dissertation, Med. Fak., Ludwig-Maximilian-Universität zu München.
- Huber G, Paetzold H, Püschel K, Morlock MM (2005) Verhalten von Wirbelsäulensegmenten bei dynamischer Belastung. In: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg) Fb 1062, Wirtschaftsverband NW, Dortmund 2005.
- ISO 11228-1, International Organization for Standardization, ISO (2003) Ergonomics – Manual handling, Part 1: Lifting and carrying.
- Jäger M (2001) Belastung und Belastbarkeit der Lendenwirbelsäule im Berufsalltag. *Fortschritt-Berichte VDI*, 17/208. VDI-Verlag, Düsseldorf.
- Jäger M (2018) Extended compilation of autopsy-material measurements on lumbar ultimate compressive strength for deriving reference values in ergonomic work design: the Revised Dortmund Recommendations. *EXCLI J* 17:362-385.
- Jäger M, Luttmann A (1999) Critical survey on the biomechanical criterion in the NIOSH method for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Int J Indust Ergonomics* 23:331-337.
- Jäger M, Luttmann A, Göllner R (2001) Belastbarkeit der Lendenwirbelsäule beim Handhaben von Lasten – Ableitung der „Dortmunder Richtwerte“ auf Basis der lumbalen Kompressionsfestigkeit. *Zbl Arbeitsmed* 51:354-372.
- Junghanns H (1979) Die Wirbelsäule in der Arbeitsmedizin. Teil I: Biomechanische und biochemische Probleme der Wirbelsäulenbelastung. *Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis*, Bd. 78. Hippokrates, Stuttgart.
- Krämer J (1994) Bandscheibenbedingte Erkrankungen – Ursachen, Diagnose, Behandlung, Vorbeugung, Begutachtung. 3. Aufl. Georg Thieme, Stuttgart.
- Nachemson A, Morris JM (1964) In vivo measurements of intradiscal pressure. *J Bone Joint Surg* 46A:1077-1092.
- NIOSH, National Institute of Occupational Safety and Health (1981) Work practices guide for manual lifting. No. 81-122. Cincinnati OH: NIOSH, Dept. Health and Human Services.
- Waters ThR, Putz-Anderson V, Garg A, Fine LJ (1993) Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics* 36:749-776.
- Wilke H-J, Neef P, Caimi M, Hoogland T, Claes E (1999) New in vivo measurements of pressures in the intervertebral disc in daily life. *Spine* 24:755-762.

Danksagung: Die Untersuchungen wurden innerhalb des Kooperationsprojekts „ME-GAPHYS: Mehrstufige Gefährdungsanalyse physischer Belastungen“ durchgeführt, das durch die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) sowie die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) gefördert wurde. Neben DGUV und BAuA sind weitere Kooperationspartner: Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA, Sankt Augustin), Institut für Arbeitswissenschaft der TU Darmstadt (IAD), Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie (ASER, Wuppertal) sowie ArbMedErgo (Hamburg).



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