

M. Jäger¹ · C. Jordan¹ · J. Voß¹ · A. Bergmann² · U. Bolm-Audorff³ · D. Ditchen⁴ · R. Ellegast⁴ · J. Haerting² · E. Haufe⁵ · O. Kuß⁶ · P. Morfeld^{7,8} · K. Schäfer⁹ · A. Seidler⁵ · A. Luttmann¹

¹ Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfADo), Dortmund

² Institut für Medizinische Epidemiologie, Biometrie und Informatik, Universität Halle-Wittenberg

³ Dezernat Landesgewerbeamt, Regierungspräsidium Darmstadt, Wiesbaden

⁴ Institut für Arbeitsschutz, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

⁵ Institut und Poliklinik für Arbeits- und Sozialmedizin, TU Dresden

⁶ Institut für Biometrie und Epidemiologie, Deutsches Diabetes-Zentrum (DDZ), Leibniz-Zentrum für Diabetes-Forschung an der Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf

⁷ Institut für Epidemiologie und Risikobewertung in der Arbeitswelt (IERA), Evonik Industries AG, Essen

⁸ Institut für Arbeitsmedizin, Umweltmedizin und Präventionsforschung, Universität zu Köln

⁹ Berufsgenossenschaft Handel und Warendistribution (BGHW), Mannheim

Erweiterte Auswertung der Deutschen Wirbelsäulenstudie

Hintergrund und Vorgehensweise der DWS-Richtwertstudie

Vorbemerkung

Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick zum Hintergrund, zum übergeordneten Ziel und zu Teilzielen sowie zur prinzipiellen Vorgehensweise einer erweiterten Auswertung der Deutschen Wirbelsäulenstudie (DWS/DWS1) in der sog. DWS-Richtwertstudie, die auf den Erhebungen und den daraus abgeleiteten Fragestellungen der DWS zu Erkrankungen und physischen Belastungen basiert [10]. Als erweiterte Auswertung bzw. Reanalyse der Daten der DWS mit dem Ziel der Ableitung geeigneter Richtwerte wird dieses Forschungsvorhaben auch als DWS-Richtwertstudie oder DWS2 bezeichnet [43]. Demzufolge hat dieser Übersichtsbeitrag nicht das vorrangige Ziel, Ergebnisse vorzustellen. Dazu wird auf die korrespondierenden Beiträge von Bergmann et al. [4], Ditchen et al. [15], Morfeld et al. [32] und Seidler et al. [44] verwiesen. Gleichwohl werden ggf. Teilergebnisse genannt und erläutert, um den Ablauf oder

auch die Entscheidungsfindung zu verschiedenen Zeitpunkten während der Bearbeitung des Forschungsvorhabens zu beschreiben.

Einführung

Bei der Ausübung von Berufen, deren Tätigkeiten von hohen physischen Belastungen wie Lastenhandhabung oder Körperhaltung mit weiter Rumpfvorneigung geprägt sind, unterliegt die Lendenwirbelsäule (LWS) nicht nur bei einigen wenigen Vorgängen oder Situationen hohen Belastungen, sondern in der Regel immer wiederkehrend und über lange Zeiten des Berufslebens. Als Folge derartiger kumulativer Langzeitexpositionen können sich degenerative Veränderungen an der Lendenwirbelsäule in Form bandscheibenbedingter Erkrankungen entwickeln. In der Bundesrepublik Deutschland können seit 1993 derartige Erkrankungen unter besonderen Voraussetzungen als Berufskrankheit Nr. 2108 der Berufskrank-

heiten-Verordnung (BKV, [6]) anerkannt werden. Als anerkennungsfähige Belastungsformen werden das langjährige Heben oder Tragen schwerer Lasten sowie langjährige Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung genannt. Dabei verdeutlicht der Verweis auf Langjährigkeit, dass Richtwerte aus der arbeitswissenschaftlichen Literatur, die sich an der strukturellen Festigkeit der Lendenwirbelsäule und daher eher auf kurzzeitige Belastungsspitzen wie einzelne Vorgänge oder Sequenzen in Arbeitsschichten orientieren, nur wenig geeignet sein können, kumulative Belastungen eines Berufslebens und deren Schädigungspotenzial zu bewerten. Als Beispiele werden die Kontrollgrenze („Action Limit“) des Nationalen Instituts für Arbeitssicherheit und Arbeitsmedizin der USA [34] oder die Dortmunder Richtwerte aus dem Insti-

Die DWS-Richtwertstudie wurde durch die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) e.V. gefördert.

tut für Arbeitsphysiologie [25] angeführt. Auch Untersuchungen zur zyklischen Belastbarkeit an Wirbelsäulenpräparaten, die einigen oder vielen Tausend Belastungswiederholungen unterzogen wurden (z. B. [13, 20, 32]), können allenfalls nachrangig zur Bewertung langjähriger Expositionen herangezogen werden, da insbesondere der Bandscheibenstoffwechsel und Heilungsprozesse am „Zielorgan Lendenwirbelsäule“ im lebenden Organismus unberücksichtigt bleiben.

Hintergrund

Entwicklung des Mainz-Dortmunder Dosismodells

Nach Einführung der BK 2108 wurden in entsprechenden Fachdiskussionen zur Ableitung von Richtwerten, die als Mindestexpositionen für die Entstehung bandscheibenbedingter Erkrankungen der LWS gelten können, zunächst verschiedenartige Ansätze unter Zuhilfenahme zahlreicher Setzungen und Vereinbarungen vorgestellt (z. B. [2, 5, 17, 18, 22, 36]). Auf Basis entsprechender Anwendungserfahrungen wurde von einer interdisziplinären Arbeitsgruppe – Mitarbeiter verschiedener Berufsgenossenschaften, Juristen, Mediziner und Wissenschaftler – ein branchenübergreifend anwendbares, epidemiologisch gestütztes Verfahren entwickelt. Bei der Erarbeitung dieses Mainz-Dortmunder Dosismodells (MDD: [19, 23, 38]) wurden für 3 Tätigkeitsfelder im Bau- bzw. Transportgewerbe sowie in der Pflege, die ein gegenüber entsprechenden Kontrollgruppen erhöhtes Risiko zur Entwicklung bandscheibenbedingter Erkrankungen aufwiesen, zunächst die kumulativen Belastungen typischer Arbeitsschichten und dann, entsprechend den Angaben in den jeweiligen Quellen, für das Berufsleben aufsummiert. Andere Tätigkeitsfelder mit einem bezüglich einer Vergleichsgruppe erhöhten Erkrankungsrisiko wurden seinerzeit nicht gefunden [8, 9].

Das MDD geht davon aus, dass jeder relevante Hebe- oder Tragevorgang sowie die Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung durch die damit einhergehende Bandscheibendruckkraft am Lenden-Kreuzbein-Übergang L5–S1 und die

Einwirkungsdauer bei der Dosiskumulation berücksichtigt werden. Somit lassen sich verschiedenartige Expositionen wie Heben, Tragen und extreme Rumpfbeugehaltungen, unterschiedliche Hebe- und Trageformen sowie verschiedene Belastungshöhen aufgrund unterschiedlicher Lastgewichte in einem einzigen Maß, der kumulierten lumbosakralen Bandscheibenkompressionskraft, abbilden und unter Berücksichtigung von Vorgangsdauer und -häufigkeit in einer kumulierten Dosis aufsummieren. Dabei weist das MDD dahingehend eine seinerzeit besondere Eigenschaft auf, dass es nicht auf einem „linearen Dosisansatz“ wie vormalige Modelle basiert (z. B. [18, 30, 37]), bei dem die kumulierte Dosis die Summe der Produkte aus Druckkraft und Dauer aller relevanten Belastungsvorgänge darstellt, d. h., Druckkraft und Dauer gehen mit gleicher Wichtung in die Dosis ein. Stattdessen berücksichtigt das MDD eine überproportionale, quadratische Wichtung der Bandscheibendruckkraft im Verhältnis zur Dauer bei der Berechnung der Schichtdosis. Dieser Ansatz einer stärkeren Kraft- als Zeitdauerwichtung leitet sich u. a. aus experimentellen Befunden von Brinckmann et al. [12] an lumbalen Präparaten ab, bei denen weniger häufig auftretende hohe Belastungsspitzen eine höhere Schädigungswirkung zeigten – d. h. mehr Präparate waren geschädigt – als häufigere Belastungen mit niedrigerer Höhe.

Neben der überproportionalen Kraftwichtung relativ zur Dauer weist das MDD folgende Eigenschaften auf: Zur Berücksichtigung des Begriffs „schwere Last“ wurde eine Bandscheibendruckkraft von 3,2 kN für Männer und 2,5 kN für Frauen als Mindestexposition vorgeschlagen. Diese Werte werden als „Erhebungsschwelle“ angesehen und bedeuten, dass nur solche Hebe- oder Tragevorgänge als relevant für die Dosiskumulation bewertet werden, die mit Druckkräften ab diesen Richtwerten verbunden sind. Die Zahlenwerte entstammen biomechanischen Modellrechnungen für das beidhändige Heben einer Last von 20 bzw. 10 kg vom Boden auf etwa Hüfthöhe; die Lastgewichte entsprechen den Angaben im seinerzeitigen „Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu BK 2108“ [7].

Als Erhebungsschwelle für die Rumpfvorneigung wurde der im Merkblatt genannte Wert von 90° für „extreme Rumpfbeugehaltung“ übernommen, und als Tagesdosissschwellen wurde auf Basis der oben erwähnten Auswertungen zu typischen Belastungen im Bau- bzw. Transportgewerbe sowie in Pflegeberufen 5,5 kNh bei Männern und 3,5 kNh bei Frauen vereinbart. Letztendlich lässt sich die Tagesdosis (TD) einer typischen Schicht (j) nach dem MDD entsprechend folgender Formel berechnen:

$$TD_j = \sqrt{\frac{\sum_i (F_i^2 \cdot t_i)}{8h}} \cdot 8h$$

Dabei stellt der Wurzelterm eine Art durchschnittliche Bandscheibendruckkraft über eine 8-h-Schicht dar, besitzt die physikalische Einheit „Newton“ (N) und wird zur Dosisermittlung mit der Schichtdauer, die einheitlich mit 8 h angesetzt wird, multipliziert. Die durchschnittliche Bandscheibendruckkraft im Wurzelterm leitet sich aus den in der Schicht ausgeführten relevanten Hebe-, Trage- oder Rumpfbeugevorgängen (i) ab. Dazu wird die Summe aller Produkte aus vorgangsspezifischer Bandscheibendruckkraft (F_i), die quadratisch eingeht, und Vorgangsdauer (t_i) gebildet und auf die Schichtdauer (8 h) bezogen.

Die Lebensdosis ergibt sich aus der Summe aller Tagesdosen. Dies lässt sich auch in der Form darstellen, dass zunächst die Anzahl der jeweiligen typischen Schicht pro Jahr gebildet und anschließend mit der Anzahl der Jahre mit dieser Beschäftigung multipliziert wird.

Mit dieser Vorgehensweise des MDD wurde versucht, Unzulänglichkeiten und insbesondere auch Differenzen zwischen den inzwischen in Anwendung befindlichen Verfahren verschiedener Unfallversicherungsträger zu begegnen. Obwohl das MDD vom damaligen Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften zur Ermittlung und Beurteilung der arbeitstechnischen Voraussetzungen in Feststellungsverfahren zur BK 2108 empfohlen wurde [21], waren seinerzeit schon Unzulänglichkeiten insbesondere auch des MDD bekannt. Diese drückten sich einerseits in einer lebhaften Darstel-

M. Jäger · C. Jordan · J. Voß · A. Bergmann · U. Bolm-Audorff · D. Ditchen · R. Ellegast · J. Haerting · E. Haufe · O. Kuß · P. Morfeld · K. Schäfer · A. Seidler · A. Luttmann

Erweiterte Auswertung der Deutschen Wirbelsäulenstudie. Hintergrund und Vorgehensweise der DWS-Richtwertstudie

Zusammenfassung

Hintergrund. Der vorliegende Beitrag erläutert im Wesentlichen den Hintergrund und die Vorgehensweise einer Reanalyse der Daten der Deutschen Wirbelsäulenstudie (DWS) in der sogenannten DWS-Richtwertstudie (DWS2) und greift ausgewählte Ergebnisse auf. Zur Prüfung der arbeitstechnischen Voraussetzungen in Feststellungsverfahren zur Berufskrankheit (BK) 2108 werden Dosisansätze genutzt, bei denen die Wirbelsäulenbelastungen für alle relevanten Vorgänge mit definierter Körperhaltung oder Lastenhandhabung über typische Schichten und das Berufsleben aufsummiert werden. In der DWS wurden für alle 4 Fallgruppen (Männer/Frauen mit Prolaps/Chondrose) erhöhte Risiken für bandscheibenbedingte Erkrankungen bei Anwendung von Dosismodellen gefunden, die Belastungen auch unterhalb der Kriterien des gegenwärtig angewendeten Mainz-Dortmunder Dosismodells (MDD) sowie Lastenhandhabungen zusätzlich zum Heben oder Tragen einbeziehen.

Material und Methoden. Die Daten der DWS wurden auf Basis kontinuierlicher an-

statt klassierter Dosiswerte reanalysiert. Die derzeit übliche quadratische Wichtung der Bandscheibendruckkraft relativ zur Vorgangsdauer wurde im Vergleich zur linearen hinsichtlich der Anpassungsgüte geprüft. Die derzeit übliche Vorgehensweise, dass die Druckkraft bei relevanten Vorgängen mit ihrem „vollen“ Wert in die Dosiskumulierung eingeht, wurde im Vergleich zu 2 Ansätzen mit anteiliger Berücksichtigung hinsichtlich der Anpassungsgüte geprüft. Es wurden in 5 Modellgruppen insgesamt 30 Einzelmodelle mit separater Variation der Modelleigenschaften – Schwellen für Bandscheibendruckkraft bei Lastenhandhabung, Rumpfvorneigung bei Körperhaltungen ohne Lastenhandhabung, Tagesdosis und optionale Einbeziehung von Handhabungsformen zusätzlich zu Heben und Tragen – definiert und hinsichtlich der Anpassungsgüte geprüft.

Ergebnisse. Die Konzepte einer quadratischen Kraftwichtung und der Vollwertberücksichtigung der Bandscheibendruckkraft weisen höhere Anpassungsgüten auf und wurden daher für die weiteren Analysen der

DWS2 verwendet. Auf Basis der jeweils best-anpassenden Dosismodelle innerhalb der Modellgruppen wurden fallgruppenspezifische Kombinationsmodelle definiert, die die Richtwerte zur Druckkraft, Rumpfvorneigung und Tagesdosis aufweisen, und zur Ableitung der jeweiligen Verdopplungsdosis des Bandscheibenerkrankungsrisikos genutzt.

Schlussfolgerung. Aufgrund des Übersichtscharakters des vorliegenden Beitrags wird zur Erläuterung der komplexen Methodik sowie der vielfältigen Ergebnisse auf die korrespondierenden Beiträge in diesem und dem nächsten Themenheft verwiesen.

Schlüsselwörter

Berufskrankheit · Bandscheibenbedingte Erkrankungen · Dosis-Wirkung-Beziehung · Dosismodelle · Lumbalbelastung

Extended evaluation of the German Spine Study. Background and methodology of the EPILIFT Exposure Criteria Study

Abstract

Background. This article describes the main features of the background and the methodology of a reanalysis of the data from the German Spine Study (EPILIFT) in the so-called EPILIFT Exposure Criteria Study (EPILIFT 2) and shows selected results only. In order to assess the work-related presuppositions in procedures with regard to occupational disease no. 2108, dose approaches were applied where the load on the spine was accumulated for all relevant actions combined with specified postures or handling of objects over typical working shifts and the occupational life. In the EPILIFT study increased risks for the development of disc-related diseases were found for every case group (males and females with prolapse or chondrosis) when dose models were applied which also included loading actions lower than the criteria of the Mainz-Dortmund Dose Model (MDD) currently in use and considered additional handling types other than lifting and carrying.

Material and methods. The EPILIFT data were reanalyzed based on continuous dose

values instead of categorized ones. The currently accepted concept of a squared weighting of disc compressive force related to action duration was tested with respect to the goodness of fit and compared to a linear weighting approach. The currently accepted concept of considering the total amount of the disc compressive force of relevant actions for dose accumulation was tested with respect to the goodness of fit and compared to two approaches which included threshold exceeding forces only. In total, 30 models in five different model groups were defined when model properties were varied separately: thresholds of disc compressive force evaluating handling of objects, angle of trunk forward-inclination evaluating postures, daily dose and the optional consideration of handling modes other than lifting and carrying. All models were tested with regard to goodness of fit.

Results. Both concepts, a squared force weighting and considering the total force, showed a higher goodness of fit; in conse-

quence, both approaches were applied in the subsequent analyses of EPILIFT 2. Based on the best-fitting dose models in the respective model groups, combination models joining the optimal thresholds for compressive force, trunk inclination and shift dose were defined specifically for the different case groups and utilized for the identification of the dose doubling the risk for lumbar disc-related diseases.

Conclusion. Due to the overview character of this article, for explanations of the complex methods and manifold results reference should be made to the corresponding articles in this and the next special editions.

Keywords

Occupational disease · Intervertebral disc disease · Dose-response relationship · Dose models · Lumbar load

lung zahlreicher Kritikpunkte in der juristischen und arbeitsmedizinischen Literatur [3, 31, 41, 46] aus, die von den Autoren des MDD aufgegriffen wurden und denen teilweise zugestimmt und teilweise entgegnet wurde [26, 39, 40]. Andererseits hatten die MDD-Autoren schon in der Erstpublikation darauf hingewiesen, dass aufgrund der lückenhaften Datengrundlage zur Expositionsschätzung und Erkrankungsdocumentation „die Vorschläge zu Verfahren und Richtwerten durch weitergehende Forschungsarbeiten auf eine breitere Basis für die Beurteilung von Lastenhandhabungen gestellt werden sollten“ [23].

Deutsche Wirbelsäulenstudie

Der offenkundige weitere Forschungsbedarf zu Dosis-Wirkung-Beziehungen zwischen Wirbelsäulenbelastungen durch Lastenhandhabung und ungünstige Körperhaltungen einerseits und der Entwicklung bandscheibenbedingter Erkrankungen der LWS andererseits führte zur Initiierung der Deutschen Wirbelsäulenstudie (im Folgenden als DWS oder DWS1 bezeichnet, [10]), die als multizentrische populationsbezogene Fall-Kontroll-Studie mit 915 Fallprobanden mit BK-entsprechender LWS-Erkrankung sowie 901 Kontrollprobanden angelegt und in den Jahren 2002–2007 durchgeführt wurde. Die vorrangig in Kliniken, aber auch in orthopädischen Praxen rekrutierten Fallprobanden lassen sich 4 Fallgruppen (FG) zuordnen: 286 männliche und 278 weibliche Personen mit Bandscheibenvorfall („Prolaps“: FG 1 bzw. 2) sowie 145 männliche und 206 weibliche Personen mit Bandscheibenhöhenminderung („Chondrose“: FG 3 bzw. 4), jeweils verbunden mit definierten Funktionseinschränkungen. Die Kontrollprobanden wurden als Zufallsstichprobe der Wohnbevölkerung von 4 ausgewählten Regionen in Deutschland (Frankfurt a. M., Halle/Saale, Freiburg, Regensburg) rekrutiert. Bezüglich der Definition der Fallgruppen und auf detaillierte Beschreibungen der studienspezifischen Eigenschaften bei den epidemiologischen Zusammenhangsanalysen wird insbesondere auf Bolm-Audorff et al. [11] sowie Seidler et al. [42] verwiesen.

Die Expositionsermittlung erfolgte 2-stufig. In einer ersten durch Laieninterviewer durchgeführten standardisierten individuellen Befragung wurde geprüft, ob zuvor definierte Mindestbelastungen durch manuelle Lastenhandhabung, gewisse Körperhaltungen oder Ganzkörperschwingungen während des Berufslebens vorgelegen haben. In der Folge wurden dann bei ca. 1200 Probanden mit vorliegender Mindestexposition umfassendere semistandardisierte individuelle Interviews durch Mitarbeiter der Technischen Aufsichtsdienste (TAD) der Unfallversicherungsträger durchgeführt, um die Exposition innerhalb des Berufslebens möglichst detailliert zu erfassen [16]. Auf Basis dieser Erhebungen zur beruflichen Exposition anhand „externer Belastungsfaktoren“ wie Lastgewicht, Aufnahme- und Absetzposition eines gehandhabten Lastobjekts sowie Tätigkeits- oder Beschäftigungsabschnitten erfolgten biomechanische Analysen zur quantitativen Beschreibung der situativen und kumulativen Wirbelsäulenbelastung [27]. Dazu wurden zunächst vorgangsspezifische biomechanische Modellrechnungen zur Ermittlung der lumbosakralen Bandscheibendruckkraft für alle dokumentierten Belastungssituationen durchgeführt. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden dann mithilfe von 10 Dosismodellen kumulierte Tagesdosen sowie die Lebensdosis berechnet. Neben dem MDD wurden auch Dosismodelle mit im Vergleich dazu abgesenkten Schwellen für Bandscheibendruckkraft, Rumpfvorneigung und Tagesdosis verwendet. Zudem wurden Dosismodelle mit verschiedener Kraftwichtung oder mit zusätzlichem Einbezug von Lastenhandhabungsarten außer Heben oder Tragen, auf das das MDD aufgrund der BK-Definition beschränkt ist, geprüft (s. Abschn. „Dosismodelle der DWS1“).

Als wesentliche Ergebnisse der DWS werden die folgenden Aspekte angeführt: Für beide Krankheitsbilder und für beide Geschlechter ergaben sich positive Dosis-Wirkung-Beziehungen zwischen der kumulativen beruflichen Wirbelsäulenbelastung durch Lastenhandhabung und Rumpfbeugehaltungen einerseits sowie der Entwicklung bandscheibenbedingter Erkrankungen der LWS ande-

rerseits. Bei allen 4 FG gehörte das MDD nicht zu den bestanpassenden Dosismodellen zur quantitativen Beschreibung der Dosis-Wirkung-Beziehung. Stattdessen weisen die Dosismodelle mit der höchsten Anpassungsgüte niedrigere Schwellenwerte für Bandscheibendruckkraft, Rumpfvorneigung und Tagesdosis auf, und zudem wurden dabei Lastenhandhabungen außer Heben und Tragen – wie Ziehen und Schieben von Lasten – einbezogen. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass die Auswertungen der DWS auf ein biomechanisches lumbales Überlastungsrisiko und somit auf Risiken für die Entwicklung einer bandscheibenbedingten LWS-Erkrankung auch für Expositionen hindeuten, die unterhalb der im Merkblatt zur BK 2108 genannten Kriterien bzw. den Richtwerten des daraus abgeleiteten MDD liegen.

Hinweise des Bundessozialgerichts

Die Auswertungen der DWS ergaben für die 4 FG jeweils unterschiedliche Dosismodelle mit einer FG-spezifischen höchsten Anpassungsgüte. Diese bestanpassenden Modelle unterscheiden sich in der Regel nicht nur in einer einzigen Modelleigenschaft wie der Schwelle zur Bandscheibendruckkraft, sondern beispielsweise auch hinsichtlich der Rumpfvorneigungsschwelle oder der Wichtung der vorgangsspezifischen Druckkraft relativ zur Vorgangsdauer („Kraftwichtung“ z. B. linear oder quadratisch). Darüber hinaus unterscheiden sich die bestanpassenden Modelle der DWS vom MDD durch niedrigere Richtwerte bzw. Schwellen zur Bandscheibendruckkraft, zur Rumpfvorneigung sowie auch zur Tagesdosis. Des Weiteren werden Handhabungsarten wie Ziehen und Schieben von Lasten zusätzlich zu Hebe- und Trageexpositionen mitberücksichtigt. Entsprechend einem Urteil des Bundessozialgerichts (BSG, [14]) können daher die in der DWS neben dem MDD untersuchten Dosismodelle, insbesondere somit die bestanpassenden Modelle nicht als Ersatz für das MDD fungieren, „da sie auch Tätigkeiten außerhalb der rechtlich vorgegebenen Kriterien ‚schweres Heben und Tragen‘ und ‚extreme Rumpfbeugehaltung‘ berücksichtigen. Sie können deshalb das MDD in sei-

Infobox 1 DWS-Richtwertestudie

Ziel

Ableitung geeigneter Richtwerte („Schwellen“) durch erweiterte Auswertung der DWS-Daten

- Kombination der Schwellen zu Bandscheibendruckkraft, Rumpfvorneigung, Tagesdosis aus bestangepassten Dosismodellen
- Ableitung der Verdopplungsdosis – Lebensdosisrichtwert mit Relativem Risiko (RR)=2
- Bestimmungsgleichungen für Bandscheibendruckkräfte
 - Erweitert analog den Schätzgleichungen des Mainz-Dortmunder Dosismodells (MDD)

DWS-1-Eigenschaft = DWS-2-Ausgangslage

Schwellen in DWS nicht separat, sondern in der Regel in Kombination variiert

Vorbedingungen der DWS2

!! Zusammenhangsanalysen: Dosiswerte „kontinuierlich“ (DWS2) anstatt „klassiert“ (DWS1)

- ? Kraft-zu-Zeit-Wichtung: linear oder quadratisch
- ? Schwellenwerte: „Vollwertberücksichtigung“ oder anteilig

Prinzipielle Vorgehensweise

- Separate Variation der Schwellen zu Bandscheibendruckkraft, Rumpfvorneigung, Tagesdosis
 - Ausgehend von einem zu definierendem „Grundmodell“
- Berechnung der Dosis-Wirkung-Beziehung [“Odds-ratio“(OR)-Kurven] und Anpassungsgüte (Akaike-Informationskriterium, AIC) für alle Dosismodelle
- Informationsgewichtete Mittelung der Schwellen zu Bandscheibendruckkraft, Rumpfvorneigung und Tagesdosis der jeweilig bestangepassten Dosismodelle (1. Multi-Modell-Analyse)
- Definierung von Kombinationsmodellen und der Auswahl des Referenzdosismodells
- Informationsgewichtete Mittelung der OR-Kurven der bestangepassten Dosismodelle über der Referenzdosis (2. Multi-Modell-Analyse) und nachfolgende Glättung
 - → Finale OR-Kurven

ner Funktion als Zusammenfassung des für eine Konkretisierung der bestehenden BK benötigten medizinischen Erfahrungswissens nicht unmittelbar ersetzbar“, sodass „aus den genannten Gründen derzeit kein den Vorgaben der BK Nr. 2108 gerecht werdendes Alternativmodell zur Verfügung steht. Die Weiterentwicklung des medizinischen Forschungsstandes und die dabei sichtbar gewordenen Mängel des MDD erfordern aber Modifikationen“ in mehrerer Hinsicht, auf die an späterer Stelle dieses Beitrags mit der Erläuterung des sog. BSG-Modells eingegangen wird (s. Abschn. „Separate Variation der Eigenschaften des Grundmodells“).

Die Hinweise des BSG verdeutlichen sowohl die zweifelsohne vorhandenen Defizite des MDD als auch die weiterführenden Ergebnisse der DWS und insbesondere den weitergehenden Forschungsbedarf über die Erkenntnisse der DWS hinaus. Zum einen unterscheiden sich die 10 Dosismodelle der DWS in der Regel in mehr als nur einer der insgesamt 5 Eigenschaften (Schwellen zu Druckkraft/

Rumpfvorneigung/Tagesdosis, Handhabungsart, Kraftwichtung), wenn die Dosismodelle paarweise verglichen werden, sodass eine verbesserte oder verschlechterte Anpassungsgüte nicht auf einen einzigen Einfluss zurückgeführt werden kann. Daher lag es nahe, in einer differenzierten Reanalyse der Daten der DWS die betreffenden Modelleigenschaften getrennt voneinander in verschiedenen Dosismodellen zu variieren, um somit die optimale Ausprägung einer Eigenschaft selektieren zu können und dem Ziel einer inhaltsstützten Diskussion um die Legaldefinition der BK 2108 einschließlich der Ableitung wissenschaftsbasierter Richtwerte näher zu kommen. Vor diesem Hintergrund wurde die als DWS-Richtwertestudie oder DWS2 bezeichnete Reanalyse konzipiert, deren Zielsetzung und prinzipielle Vorgehensweise im Folgenden beschrieben werden. Detaillierte Darstellungen der Ergebnisse zu Dosis-Wirkung-Zusammenhängen zwischen Wirbelsäulenbelastung einerseits und Erkrankungsrisiko andererseits finden sich

bei Seidler et al. [44], zur Methodik der Multi-Modell-Analyse mit dem Ziel der Beschreibung eines Dosis-Wirkung-Zusammenhangs bei Morfeld et al. [32] sowie zur Ableitung eines praxistauglichen Verfahrens zur Bestimmung von Bandscheibendruckkräften in Form sog. Bestimmungsgleichungen bei Ditchen et al. [15].

Ziele und prinzipielle Vorgehensweise

Sowohl die Ergebnisse der DWS (DWS1) als auch die nachfolgenden Hinweise in einem Urteil des BSG [14] offenbarten eine Reihe von Fragen, denen in einem weitergehenden Forschungsvorhaben nachgegangen werden sollte. Eine Übersicht zum Ziel und zur prinzipiellen Vorgehensweise der „DWS-Richtwertestudie“ (DWS2) ist in **Infobox 1** wiedergegeben. Zusätzlich sind 2 besondere Aspekte aufgeführt, die zum einen das Merkmal der DWS1 und somit die Ausgangslage der DWS2 aufzeigt, dass die Eigenschaften der in der DWS1 verwendeten Dosismodelle nicht getrennt voneinander, sondern in der Regel in Kombination variiert waren. Zum anderen sind mehrere Bedingungen erwähnt, die vor den eigentlichen Arbeiten der DWS2 in Form einer Reanalyse der Daten der DWS1 einer Klärung bedurften.

Als übergeordnetes Ziel der vorliegenden DWS-Richtwertestudie wird die erweiterte Auswertung der in der DWS erhobenen Daten in der Absicht und Erwartung angeführt, angemessene(re) Dosismodelle mit „geeigneten Richtwerten“, d. h. mit ergebnisgestützten Eigenschaften für die Prüfung der arbeitstechnischen Voraussetzungen in Feststellungsverfahren zur BK 2108 abzuleiten. Während in der DWS1 zwar der prinzipielle Nachweis von Dosis-Wirkung-Zusammenhängen zwischen kumulativer Lumbalbelastung und LWS-Erkrankungen für die 4 FG (Männer/Frauen mit Prolaps/Chondrose) erbracht wurde – jeweils allerdings auf Basis verschiedener Dosismodelle mit z. T. recht unterschiedlichen Kriterien –, blieb jedoch die Frage unbeantwortet, ob nicht andere Modelle mit beispielsweise „gemischten Eigenschaften“ eine höhere Anpassungsgüte einer Dosis-Wir-

Tab. 1 Eigenschaften der 10 in der Deutschen Wirbelsäulenstudie verwendeten Dosismodelle

Dosismodell-Nr.	Schwellen				Rumpfvorneigung (°)	Lastenhandhabung außer Heben oder Tragen	Druckkraft	
	Tagesdosis (kNh)		Druckkraft (kN)				Wichtung	Ermittlung
	M	F	M	F				
1	5,5	3,5	3,2	2,5	90	nein		MDD-Schätzgleichungen
2							$\sqrt{\sum F_i^2}$	Modellrechnung via Der Dortmunder
3						ja		
4	0		0		20			
5			2,0		45			
6					75			
7					45			
8							$\sum F_i$	
9							$\sum F_i^3$	
10							$\sum F_i^4$	
							$\sum F_i^2$	

Berechnung der Tagesdosis mit Angabe der Modelleigenschaften bei der quantitativen Beschreibung der kumulativen Wirbelsäulenbelastung je Arbeitsschicht, d. h. mit Angaben zu „Erhebungsschwellen“ für Tagesdosis, Bandscheibendruckkraft und Rumpfvorneigung sowie zur Einbeziehung verschiedener Arten der Lastenhandhabung, zur Druckkraftwichtung relativ zur Belastungsdauer und zur Art der Ermittlung der Bandscheibendruckkraft. *M* Männer, *F* Frauen.

kung-Beziehung aufweisen würden. Aus der Prüfung von Dosismodellen über das Spektrum der DWS hinaus sollten durch eine Kombination von Schwellen zur Bandscheibendruckkraft, Rumpfvorneigung und Tagesdosis „Kombinationsmodelle“ entwickelt werden, auf deren Basis nach Möglichkeit für alle FG die „Verdoppelungsdosis“, d. h. die Lebensdosis mit einem Relativen Risiko (RR) von 2 bezogen auf die Kontrollgruppe abgeleitet werden kann (Morfeld et al. [32]). In einem gesonderten Projektteil (Ditchen et al. [15]) sollten die in der DWS erhobenen Daten zu Bandscheibendruckkräften für verschiedene Hebe-, Trage- und andere Lastenhandhabungstätigkeiten dazu genutzt werden, in einer Art Datenverdichtung „Bestimmungsgleichungen“ für die Berechnung von Bandscheibendruckkräften abzuleiten. Innerhalb des Experteninterviews der DWS durch die TAD der Unfallversicherungsträger wurden sehr aufwendige Erhebungen zu externen Belastungsfaktoren wie Lastaufnahme- und Lastenabsetzposition relativ zum Körper, verschiedene Arbeitshöhen oder auch zur Oberkörpervorneigung und -verdrehung durchgeführt [16], sodass sich mehr als 5000 verschiedene Bewegungen von Körper und Last ergaben, die in aufwendigen 3-dimensionalen biomechanischen Mo-

dellrechnungen insbesondere bezüglich der resultierenden Bandscheibendruckkraft ausgewertet wurden [27]. Um in zukünftigen BK-Ermittlungsverfahren auf vorgangsspezifische komplexe Modellrechnungen verzichten zu können, wurde in Analogie zu den innerhalb des MDD für besondere Umstände vorgestellten 7 Bestimmungsgleichungen zur Schätzung der Bandscheibendruckkräfte ein etwas detaillierteres und dennoch leicht anwendbares Gleichungsspektrum auf Basis der umfassenden DWS-Erhebungen entwickelt.

Ausgangslage der DWS2

In der DWS1 blieben bei den Erhebungen der TAD vereinbarungsgemäß Belastungssituationen unberücksichtigt, a) bei denen Lasten bis zu etwa 5 kg gehandhabt wurden, b) bei denen keine Lasten gehandhabt wurden und allenfalls Rumpfvorneigungen bis zu ca. 20° auftraten oder c) die sich auf kurze Beschäftigungsabschnitte (<1/2 Jahr) bezogen. Demzufolge wurden derartige Belastungen nicht in die Ermittlung von Schicht- und Lebensdosiswerten einbezogen. In **Tab. 1** sind die in der DWS1 verwendeten Dosismodelle 1–10 aufgeführt, mit denen die Tagesdosis bei Anwendung verschiedener Mo-

delleigenschaften auf Basis der vorgangsspezifischen Bandscheibendruckkraft, der Vorgangsdauer und der Häufigkeit des Auftretens kumuliert wurde (s. auch Abschn. „Entwicklung des Mainz-Dortmunder Dosismodells“). Detaillierte Erläuterungen zu diesen 10 Dosismodellen finden sich zwar in früheren Publikationen (z. B. [10, 27]), dennoch wird im Folgenden zur Verdeutlichung des Zusammenhangs mit der DWS2 auf gewisse Merkmale hingewiesen.

Dosismodelle der DWS1

Die 10 Dosismodelle der DWS1 unterscheiden sich – ausgehend vom MDD mit den „strengsten“ Kriterien – bezüglich der Mindestwerte oder „Schwellen“ für Tagesdosis, Bandscheibendruckkraft und Rumpfvorneigung, ab denen der jeweilige Vorgang als relevant eingestuft wird und somit in die Schichtdosisberechnung eingeht. Zusätzlich unterscheiden sich die Modelle in Hinsicht auf die optionale Einbeziehung von zusätzlichen Formen der Lastenhandhabung außer Heben oder Tragen. Zur Prüfung der Wirkung des evtl. überproportionalen höheren Schädigungspotenzials hoher Kräfte im Vergleich zur Einwirkungsdauer betrifft eine weitere Modelleigenschaft die Wichtung der vorgangsspe-

zifischen Bandscheibendruckkraft (F_i) relativ zur Vorgangsdauer durch Potenzieren der Kraft (lineare Wichtung: Exponent ist 1; quadratisch: 2; kubisch: 3; tetradisch: 4: 2. Spalte von rechts in **Tab. 1**), wobei durch Anwendung einer Wurzelfunktion bei einigen Modellen zunächst eine mittlere Druckkraft analog zum MDD gebildet wird, bei anderen Modellen nicht. In der Spalte ganz rechts in **Tab. 1** ist als letztes Modellmerkmal die Berechnungsart der Bandscheibendruckkraft für alle in den TAD-Erhebungen dokumentierten Belastungsvorgänge aufgeführt. Dabei wird unterschieden, ob die lumbosakrale Druckkraft einerseits mithilfe der im MDD vorgestellten Bestimmungsgleichungen für die retrospektive Schätzung für nicht mehr exakt nachprüfbar Tätigkeitsbilder bei nicht mehr bestehenden Arbeitsplätzen und somit stark kategorisiert ermittelt wurde („MDD-Schätzgleichungen“, [19]). Oder andererseits wurde die Bandscheibendruckkraft – mit dem Ziel einer möglichst genauen Abbildung einer Belastungssituation in der resultierenden Wirbelsäulenbelastung – aus vergleichsweise komplexen 3-dimensional-dynamischen biomechanischen Modellrechnungen mithilfe des Simulationswerkzeugs „Der Dortmunder“ [24] gewonnen, bei denen die Wirkungen der Massenträgheit bei Bewegungen und der Asymmetrie von Körperhaltung, Lastposition oder Kraftrichtung einbezogen wurde.

Vergleicht man die Modellmerkmale untereinander, lassen sich insbesondere folgende Aspekte herausheben: Die Dosismodelle 1–3 bilden das MDD ab, ggf. mit Modifikationen; dabei folgen die Dosismodelle 1 und 2 unmittelbar der Vorgehensweise des MDD („Original-MDD“) und unterscheiden sich nur in der Art der Druckkraftbestimmung. Die darin vorgesehenen Erhebungsschwellen bezüglich Rumpfvorneigung (90°) und Bandscheibendruckkraft (3,2 kN für Männer bzw. 2,5 kN für Frauen) sowie die Berücksichtigung einer Tagesdosischwelle (5,5 kNh für Männer bzw. 3,5 kNh für Frauen) orientieren sich an den Kriterien des seinerzeitigen ärztlichen Merkblatts zur BK 2108 [7, 26]. Im Gegensatz zu diesen beiden Dosismodellen werden bei allen anderen Modellen (3–10) nicht nur

Hebe- oder Tragevorgänge – einschließlich Halten von Lasten, Schaufeln von Schüttgütern und das Bewegen von Personen (z. B. Patienten) – einbezogen, sondern beispielsweise auch biomechanisch verwandte Formen der Lastenhandhabung wie Ziehen/Schieben, Fangen/Werfen oder Kraftaufwendungen. Zur Prüfung der Wirkung der Tagesdosischwelle auf die mathematisch beschriebene Dosis-Wirkungs-Beziehung weisen die Dosismodelle 1–3 eine Tagesdosischwelle auf, alle anderen Dosismodelle (4–10) hingegen nicht.

Dosismodell 4 geht mit den geringsten Restriktionen bezüglich der Berücksichtigung von Einzeltätigkeiten einher, da sämtliche TAD-dokumentierten Belastungsfälle in Druckkraftwerte umgesetzt werden, sodass im Vergleich zum MDD auch geringere Lastgewichte und Rumpfvorneigungen sowie alle Schichtbelastungen einbezogen werden. Die Dosismodelle 5–10 weisen einheitlich eine Druckkraftschwelle von 2,0 kN auf, sodass zwar nicht sämtliche Lastenhandhabungen in die Dosiskumulierung eingehen, aber dennoch deutlich mehr als beim MDD. Bei den Dosismodellen 7–10 sind alle Eigenschaften identisch und gleich denen von Dosismodell 5; allein die Druckkraftwichtung unterscheidet sich mit Exponenten von 1–4. Zudem wird auf die Wurzelziehung verzichtet. Demzufolge sind die physikalischen Einheiten der jeweiligen Dosis und die Bereiche der Zahlenwerte, die sich durch Anwendung der jeweiligen Dosismodelle ergeben, verschieden. Dies erschwert einen Vergleich der Ergebnisse untereinander und den Vergleich mit früheren Ergebnissen: Dosismodell 7 mit linearer Kraftwichtung führt beispielsweise zu Werten in der Einheit Newton-Sekunde (Ns), beim kubisch wichtenden Modell Nr. 8 ist es N^3s , beim tetradischen Modell N^4s .

Wie die Übersicht zu den Dosismodellen der DWS1 in **Tab. 1** zeigt, wurde in der DWS1 auf verschiedene in der Fachdiskussion genannte Merkmale bei der Ermittlung von kumulativen Wirbelsäulenbelastungen eingegangen. Allerdings ist als wesentlicher Aspekt für die Fragestellungen der DWS2 auch herauszuheben, dass sich die Dosismodelle in der Regel nicht nur in einem einzigen Merkmal

unterscheiden, sodass sich differenzierte Aussagen zur Entstehung bandscheibenbedingter Erkrankungen der LWS im Sinne der BK 2108 nicht ableiten lassen. Demzufolge sollten in der DWS-Richtwertstudie (DWS2) die Modelleigenschaften in einem ersten Schritt separat variiert – ausgehend von einem zunächst zu definierenden „Grundmodell“ – und hinsichtlich der Anpassungsgüte geprüft werden (Morfeld et al. [32] sowie Seidler et al. [44]).

Dosis-Wirkungs-Beziehungen der DWS1

Eine zusammenfassende Darstellung wesentlicher Ergebnisse der DWS zeigt **Abb. 1**. Im mittleren Teil der Abbildung sind die Quotenverhältnisse („odds ratio“, OR) einschließlich der Konfidenzintervalle für die 4 FG über der Lebensdosis der kumulativen beruflichen Wirbelsäulenbelastung durch Lastenhandhabung und Rumpfbeugehaltungen aufgetragen. Jeweils daneben sind die jeweiligen Modellmerkmale aufgeführt. Wie die Diagramme verdeutlichen, wurden die Lebensexpositionen in der DWS in kategorisierter Form zum einen für „Unbelastete“ – dies waren Personen, die *a priori* vereinbarte Mindestwerte nicht erreichten – und zum anderen in Tertilen für „Exponierte“ angegeben.

Dabei leiten sich die Tertilgrenzen aus den Expositionen der Kontrollpersonen wie folgt ab: Die unterste Tertilgrenze repräsentiert die maximale Lebensdosis der „unbelasteten Kontrollpersonen“. Die Lebensdosen der anderen Personen der Kontrollgruppe („exponierte Kontrollpersonen“) wurden der Größe nach geordnet und bezüglich der Anzahl gedrittelt, sodass sich die Tertilgrenzen direkt an der Drittelgrenze ablesen ließen. Unter besonderen Umständen wurde das 1. Tertil der Referenzgruppe zugeschlagen (**Abb. 1** bei FG 1 und 3) oder auch vom 3. Tertil eine Hochdosisgruppe abgetrennt (s. hier bei FG 1; zu Einzelheiten der Klassenbildung: [10, 11]). Entsprechend den so gebildeten Dosisklassen und -grenzen wurden die Fallprobanden zugeordnet; die Klassenbelegung mit Fall- bzw. Kontrollprobanden (n_F , n_K) ist zusätzlich eingetragen.

Die Diagramme in **Abb. 1** verdeutlichen, dass sich für beide Krankheitsbilder

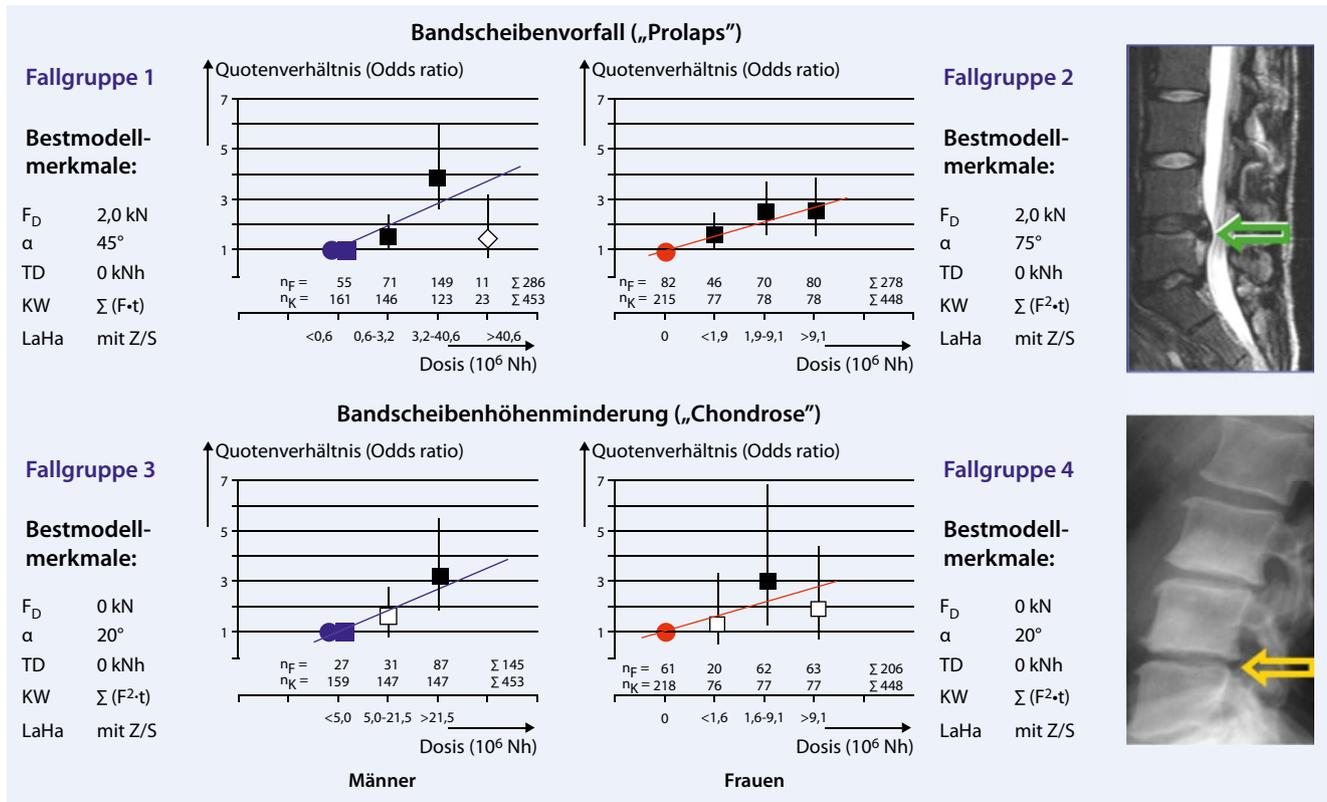


Abb. 1 ▲ Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen Belastungen durch Lastenhandhabung und Körperhaltung anhand der über das Berufsleben kumulierten Bandscheibendruckkräfte („Lebensdosis“) einerseits und 2 Arten bandscheibenbedingter Erkrankungen der Lendenwirbelsäule für Männer und Frauen auf Basis von Daten der DWS andererseits (Daten aus [10], Darstellung nach Jäger et al. [28] mit Angabe der 95%-Konfidenzintervalle sowie skizzierten, d. h. nichtberechneten und nach Probandenanzahl gewichteten Regressionslinien; nichtsignifikant erhöhte Erkrankungsrisiken sind durch offene Symbole gekennzeichnet), ergänzt um die Merkmale des fallgruppenspezifischen Bestmodells. F_D Bandscheibendruckkraft, KW Kraftwichtung, $LaHa$ Lastenhandhabungsform, n_F Anzahl von Fallprobanden, n_K Anzahl von Kontrollprobanden, TD Tagesdosis, Z/S Ziehen/Schieben und korrespondierende Handhabungsformen, α Rumpfvorneigung

(Prolaps *oben*, Chondrose *unten*) und für beide Geschlechter (Männer *links*, Frauen *rechts*) in zumindest einer Dosis-kategorie signifikant erhöhte Risiken im Vergleich zur jeweiligen Referenzkategorie fanden. Mit Zunahme der Wirbelsäulenbelastungsdosis über das Berufsleben bis zur Diagnosestellung bei Fällen bzw. bis zur Expositionserhebung bei den Bevölkerungskontrollen ergaben sich insgesamt – d. h. über alle Dosis-klassen gesehen – positive Dosis-Wirkung-Zusammenhänge zwischen Lumbalbelastung einerseits und der Entwicklung bandscheibenbedingter Erkrankungen der LWS im Sinne der BK 2108 andererseits, auch wenn sich bei FG 1 und 4 in der höchsten Dosis-kategorie niedrigere Risiken fanden als für die zweithöchste. Dies ist vermutlich auf einen „Healthy-worker“-Effekt zurückzuführen. Die Ergebnisse in den Diagrammen zu den 4 FG basieren auf dem jeweils

bestangepassten Dosismodell, d. h. dem Modell mit der höchsten Anpassungsgüte zur quantitativen Beschreibung der Dosis-Wirkungs-Beziehung. Die jeweiligen Bestmodellmerkmale zu den Schwellen der Bandscheibendruckkraft (F_D), Rumpfvorneigung (α) und Tagesdosis (TD) sowie zur Kraftwichtung (KW) und zum Spektrum der einbezogenen Lastenhandhabungsformen ($LaHa$ – zusätzlich zum Heben und Tragen auch Ziehen/Schieben, Fangen/Werfen, Kraftaufwendungen, abgekürzt Z/S) sind neben den Diagrammen aufgeführt.

Der Vergleich der Bestmodellmerkmale zeigt, dass für die 4 FG jeweils verschiedene Dosismodelle die beste Anpassung lieferten. Bei FG 1 und 2 weisen die Bestmodelle eine Druckkraftschwelle von 2,0 kN auf, bei FG 3 und 4 keine Schwelle (0 kN). Die Schwelle für die Rumpfvorneigung variiert zwischen 45° (FG 1),

75° (FG 2) und 20° (FG 3 und 4). Einheitlich wiesen die Bestmodelle keine Tagesdosis-schwelle auf, und Ziehen/Schieben sowie korrespondierende Handhabungsformen wurden miteinbezogen. Bei der Wichtung der Bandscheibendruckkraft war einmal ein lineares Modell bestangepasst (FG 1) und 3-mal ein quadratisch wichtendes (FG 2–4). Obwohl in der Abbildung nicht eigens erwähnt, unterschieden sich auch die Bestmodelle für die FG 3 und 4: Alle 10 Dosismodelle der DWS wurden in 4 Ausprägungen getestet (mit/ohne Hochdosisgruppe, Dosisanteile aus Lastenhandhabung und Körperhaltung getrennt/summiert). Bei FG 4 bot allein der Dosisanteil aus Lastenhandhabungen die beste Anpassung, bei FG 3 die Gesamtdosis.

Mit Bezug auf **Tab. 1** zu den Modellmerkmalen lässt sich zusammenfassend anführen, dass das im Vergleich zu den

anderen geprüften Modellen „liberalste“ Dosismodell 4 bei den FG 3 und 4 die höchste Anpassungsgüte aufwies, während bei FG 1 das linear-wichtende Dosismodell 7 das bestanpassende war und bei FG 2 das mit der höchsten Rumpfvorneigungsschwelle versehende Modell 6. Es lässt sich auch herausheben, dass das MDD (Nr. 2 in **Tab. 1**) für keine der FG zu den bestanpassenden Dosismodellen gehörte, sondern dass stattdessen die Dosismodelle mit der höchsten Anpassungsgüte generell niedrigere und z. T. deutlich niedrigere Schwellenwerte für Bandscheibendruckkraft, Rumpfvorneigung sowie Tagesdosis aufwiesen und zudem auch Lastenhandhabungen außer Heben und Tragen einbezogen waren.

Vorbedingungen der DWS2

Wie anhand der in **Abb. 1** dargestellten Dosis-Wirkung-Beziehungen für die jeweils bestanpassenden Dosismodelle der DWS1 ersichtlich wird, wurden die Zusammenhangsanalysen auf Basis von terzilierten, d. h. klassierten Lebensdosiswerten durchgeführt. Ungeachtet vielfältiger Diskussionen um die Vor- und Nachteile von Auswertungen klassierter Daten wurde als eine erste „Vorbedingung“ für die erweiterten Analysen der DWS1-Daten für die DWS2 festgelegt, dass „mit kontinuierlichen Variablen gerechnet“ werden solle (**Infobox 1**).

Lineare vs. quadratische Kraftwichtung

Als weiterer zu Projektbeginn zu klärender Aspekt (**Infobox 1**) sollte die zu favorisierende Wichtung der Bandscheibendruckkraft eines Vorgangs relativ zur Einwirkungsdauer identifiziert werden. Wie in Abschn. „Dosis-Wirkung-Beziehungen der DWS“ erläutert, wies eines der bestanpassenden Dosismodelle eine – leicht anwendbare – lineare, die anderen 3 eine quadratische Kraft-zu-Zeit-Wichtung wie im MDD auf. Die angeführte „Grundsatzfrage“ wurde mithilfe von vielfältigen Zusammenhangsanalysen anhand der Dosismodelle 5 und 7 der DWS, die sich nur in dem Merkmal „Kraftwichtung“ unterscheiden, und des als Vergleich herangezogenen Dosismodells 2, das Original-MDD, untersucht: Auf Basis

kontinuierlicher Dosiswerte wurden (natürliche) Polynome 3. Grades und fraktionale Polynome 2. Grades konfiguriert und eingesetzt sowie lokale Regressionsanalysen angewendet. Die Ergebnisse zur Anpassungsgüte wurden denen auf Basis der kategorisierten Variablen aus der DWS gegenübergestellt.

Die Prüfung der angeführten Grundsatzfrage zur Kraftwichtung führte zu eindeutigen Ergebnissen: Bei allen Auswertungsansätzen zu kontinuierlichen Daten und bei allen 4 FG ergab sich in der Regel ein deutlich niedrigerer AIC-Wert und damit eine deutlich höhere Anpassungsgüte bei quadratischer Kraftwichtung als bei linearer (zum Akaike-Informationskriterium, AIC: [1]). Es fanden sich auch 2 Teilergebnisse mit naheliegenden bzw. identischen AIC-Werten, allerdings bei keiner Konstellation von Prüfmodus und FG eine höhere Anpassungsgüte für die lineare Kraftwichtung. Im Vergleich dazu ergaben sich bei kategorisierter Auswertung für die FG 3 und 4 höhere Anpassungsgüten bei linearer Kraftwichtung. Insgesamt wurden diese Auswertungen dahingehend gewertet, dass eine quadratische Kraft-zu-Zeit-Wichtung zu favorisieren ist und diese überproportionale Wichtung der Bandscheibendruckkraft für alle weiteren Analysen innerhalb der DWS-Richtwertstudie eingesetzt werden sollte.

Vollwert- vs. anteilige Druckkraftberücksichtigung

Sowohl bei Dosisberechnungen zu kumulativen Wirbelsäulenbelastungen in der Literatur (z. B. [18, 35, 37]) als auch beim MDD und bei der DWS wird die berufliche Tages- oder Lebensdosis auf Basis aller relevanten physischen Belastungen ab zuvor definierten Schwellen ermittelt. Bei MDD und DWS gehen alle Belastungen durch Hebe- oder Tragetätigkeiten – ggf. auch durch Ziehen oder Schieben von Lasten o. Ä. – sowie durch definierte Körperhaltungen ein und werden bei der Dosiskumulierung entsprechend der mit der Belastungssituation einhergehenden Bandscheibendruckkraft berücksichtigt. Dies bedeutet, dass als relevant angesehene Belastungssituationen mit „dem vollen Wert der Druckkraft“ eingehen, während nichtrele-

vante Vorgänge gänzlich unberücksichtigt bleiben bzw. die Teildosis dieses Vorgangs „auf 0 gesetzt“ wird, obwohl in diesen, zeitlich sogar überwiegenden Phasen auch Druckkräfte über die Bandscheiben der LWS übertragen werden. Demzufolge wird bei der „Vollwertberücksichtigung“ den relevanten Phasen ein vergleichsweise (zu) hoch angesetztes Schädigungspotenzial zugerechnet, bzw. umgekehrt werden den nichtrelevanten Phasen vergleichsweise (zu) niedrige Dosiswerte von 0 zugewiesen.

Aufgrund dieser Einschätzung sollte in einer Sensitivitätsanalyse „Schwellenwertprüfung“ zunächst untersucht werden, ob andere Formen der Druckkraftberücksichtigung zu verbesserten Dosismodellen, d. h. solchen mit höherer Anpassungsgüte, führen als das seinerzeit übliche Einbeziehen des „vollen“, „absoluten Werts“. Dazu wurden 2 Verfahren im Umgang mit Bandscheibendruckkräften für die Dosiskumulierung in relevanten Phasen geprüft: 1) In Anlehnung an Ulm [45] wird jeweils nur die Differenz zwischen berechneter Belastung und Schwellenwert aufsummiert. Dieser Ansatz mit anteiliger Berücksichtigung der Druckkraft wird mit dem Begriff „Schwellenwertüberschuss“ umschrieben und verdeutlicht, dass nur die Anteile oberhalb der Schwelle als risikobehaftet angesehen werden. 2) In einem konkurrierenden Modell wird nur die Differenz zwischen berechneter Belastung und Basisbelastung, d. h. hier der Druckkraft bei aufrechtem Stehen ohne Last aufsummiert. Dieser Ansatz mit anteiliger Berücksichtigung der Druckkraft wird mit dem Begriff „Basiswertabzug“ belegt und verdeutlicht, dass in Zeiten ohne relevante Belastung eine „Grundlast“ existiert und nur die Anteile oberhalb dieser Grundlast als risikobehaftet angesehen werden.

In **Abb. 2** sind die genannten 3 Ansätze mit Vollwertberücksichtigung, Schwellenwertüberschuss und Basiswertabzug anhand des Dosismodells 5 der DWS mit einer Druckkraftschwelle von 2,0 kN für Lastenhandhabungen und 45° für Körperhaltungen ohne Lastenhandhabung grafisch dargestellt. Jeweils *links* ist die Auswirkung auf die „dosisrelevante“ Druckkraft bei Lastenhandhabung und jeweils *rechts* die Auswirkung bei ver-

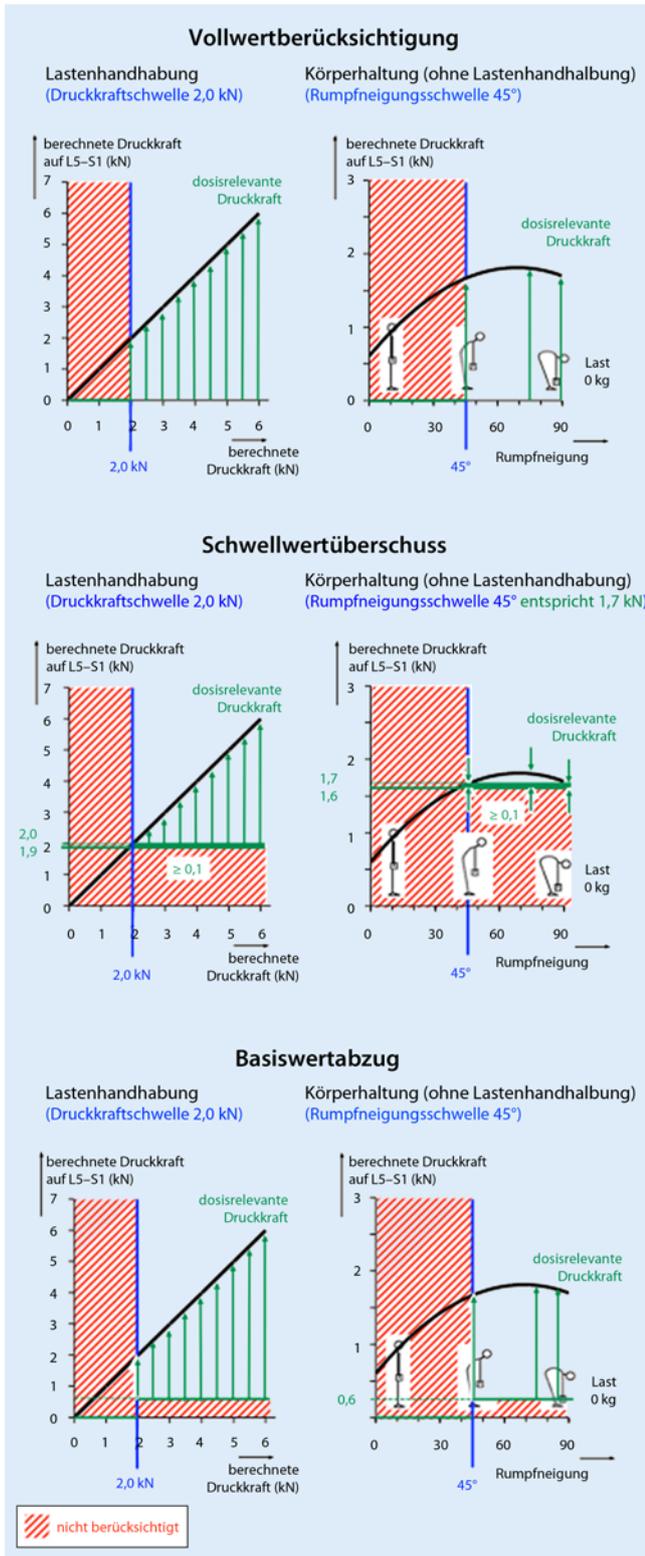


Abb. 2 Erläuterungen zur Sensitivitätsanalyse „Schwellwertprüfung“ mit Vergleich von 3 Formen der Druckkraftberücksichtigung in kumulativen Dosismodellen für Lastenhandhabungen (*links*) und Körperhaltungen (*rechts*), hier auf Basis der Schwellen von 2,0 kN für die Bandscheibendruckkraft und 45° für Rumpfneigung entsprechend Dosismodell 5 der DWS, mit besonderer Kennzeichnung der „dosisrelevanten Druckkraft“ oberhalb der jeweilig angewendeten Schwelle

Identitätslinie gekennzeichnet ist. Im Diagramm *oben rechts* bedeutet die Anwendung des Ansatzes „Vollwertberücksichtigung“, dass bis zu einer Rumpfneigung von 45° nach vorn die korrespondierende Druckkraft bezüglich der Dosisrelevanz auf 0 gesetzt wird und ab 45° der volle Wert der Druckkraft, für den hier ein in erster Näherung sinoidaler Zusammenhang zwischen Vorneigungswinkel und Druckkraft (mit Achsenabschnitt an der Ordinate) berechnet wurde, in die Dosis eingeht.

Analog lässt sich das Diagrammpaar *unten* in **Abb. 2** beschreiben: Bis zur jeweiligen Schwelle von 2 kN (*links*) bzw. 45° (*rechts*) wird die korrespondierende Druckkraft als nichtrelevant für die Dosis gewertet und daher „auf 0 gesetzt“. Demzufolge würden Lastenhandhabungen mit Druckkräften unter 2 kN bzw. Körperhaltungen mit Rumpfvorneigungen von weniger als 45° bei der Dosisberechnung unberücksichtigt bleiben. Oberhalb der genannten Schwellen würde allerdings im Gegensatz zur Vollwertberücksichtigung nicht die gesamte Druckkraft bei der Dosisberechnung eingehen, sondern nur die Differenz zum Basiswert von 0,6 kN für Stehen mit aufrechtem Oberkörper.

Eine Besonderheit weist die Vorgehensweise für den Ansatz „Schwellwertüberschuss“ auf: Ausgehend von Körperhaltungen mit einer Rumpfneigung von 45°, d. h. dem angesetzten Schwellenwert, würde bei Berechnung des Schwellwertüberschusses ein Differenzwert 0 als dosisrelevant gewertet werden, und somit würden diese 45°-Belastungsphasen bei der Dosiskumulierung nicht zu einer Dosiserhöhung führen – trotz zuvor identifizierter Dosisrelevanz. Daher wurde, um auch derartigen Zeiten eine Dosis zuzuordnen, der nächst kleinere von 0 unterscheidbare Belastungswert als Schwelle herangezogen: statt 2,0 kN ein Wert von 1,9 kN als Druckkraftschwelle sowie ein Wert von 1,6 kN anstatt 1,7 kN, die der Druckkraft bei 45°-Rumpfneigung entspricht. Wie die Diagramme in der *Mitte* von **Abb. 2** insgesamt zeigen, werden bei diesem Ansatz die vergleichsweise geringsten Anteile der Druckkraft bei der Dosiskumulierung einbezogen. Dies gilt in besonderem Maß für Körperhaltungsex-

schiedener Rumpfneigung skizziert. Allen 6 Diagrammen gemeinsam sind die Schraffierungen von Bereichen, die nicht in die Dosis eingehen, sowie – anhand von *Pfeilen* – die Hervorhebungen von Druckkräften bzw. Anteilen von Druckkräften,

die bei der Dosiskumulierung berücksichtigt werden. Das Diagramm *oben links* verdeutlicht, dass unterhalb von 2 kN die dosisrelevante Druckkraft „auf 0 gesetzt“ wird und ab 2 kN der volle Wert in die Dosis eingeht, was durch *Pfeile* zur

positionen, für die nur sehr geringe (Differenz-)Werte berücksichtigt werden.

Als Ergebnis der Sensitivitätsanalyse „Schwellenwertprüfung“ fanden sich keine verbesserten Anpassungsgüten bei Anwendung der beiden neuartigen Ansätze einer anteiligen Berücksichtigung der Bandscheibendruckkraft im Vergleich zur Vollwertberücksichtigung bei der Berechnung der kumulierten Dosis. Demzufolge wurden die weiteren Auswertungen der DWS-Richtwertstudie mit dem üblichen und auch in der DWS angewendeten Verfahren der Vollwertberücksichtigung durchgeführt.

Dosismodelle der DWS2

Nach Klärung der „Vorbedingungen“ zur Auswertung auf Basis kontinuierlicher Dosiswerte, zur überproportionalen Kraft-zu-Zeit-Wichtung und zur „Vollwertberücksichtigung“ der Bandscheibendruckkraft bei der Dosiskumulierung (s. Abschn. „Vorbedingungen der DWS2“) wurden die „hauptsächlichen“ Arbeiten zum übergeordneten Ziel der DWS-Richtwertstudie, die die Initiierung des Forschungsvorhabens ursprünglich veranlassten, aufgenommen, nämlich nach separater Variation von Dosismodell-eigenschaften geeignete Richtwerte abzuleiten (■ **Infobox 1**). Dazu galt es zunächst, ein „Grundmodell“ zu definieren oder auszuwählen, das die Basis für die getrennte bzw. sequenzielle Veränderung der verschiedenen Merkmale der Tagesdosismodelle bilden sollte.

Auswahl eines Grundmodells

Zur Auswahl eines Grundmodells wurden *a priori* 3 Kriterien diskutiert:

- Das Grundmodell sollte eines der „bestangepassten“ Modelle der DWS für mindestens eine FG sein oder eines der statistisch davon nichtunterscheidbaren.
- Das Grundmodell sollte eine quadratische Kraftwichtung aufweisen.
- Das Grundmodell sollte „mittlere“ Schwellen aufweisen, sodass diese in beide Richtungen variiert werden können.

Aufgrund des 1. Kriteriums kamen zunächst 5 Dosismodelle infrage, die in der

DWS in mindestens einer FG zur Gruppe der bestangepassten zu zählen waren (■ **Tab. 1**): Nrn. 7 und 10 aufgrund der hohen Anpassungsgüte für FG 1, Nrn. 6 und 9 hinsichtlich FG 2, Nr. 4 aus den Erhebungen zu FG 3 sowie die Nrn. 4 und 6 bezüglich FG 4. Das zweite der oben genannten Kriterien – quadratische Kraftwichtung – ließ die Nrn. 7, 9 und 10 ausscheiden. Für die nachfolgende Bewertung von Dosismodellen anhand der Anpassungsgüte wurde das residuale Modellpaar 4 und 6 um das „dazwischen liegende“ Modell Nr. 5 ergänzt, sodass die Zusammenhangsprüfungen für die Modelle 4–6 erfolgten. Analog zur Auswertung verschiedener Kraftwichtungen (s. Abschn. „Lineare vs. quadratische Kraftwichtung“) wurden auf Basis kontinuierlicher Dosiswerte (natürliche) Polynome 3. Grades und fraktionale Polynome 2. Grades verwendet sowie lokale Regressionsanalysen durchgeführt. Als Referenz wurden auch die kategorialen Auswertungen für die 4 FG auf Basis der terzilierten Dosiswerte vorgenommen.

Im Ergebnis fanden sich in der überwiegenden Zahl der Prüfungen die niedrigsten AIC-Werte und damit die höchsten Anpassungsgüten für das „liberalste“ Dosismodell 4; jedoch ist dieses Dosismodell mit den niedrigsten und somit „am Rand des jeweiligen Bereichs“ liegenden Schwellen für die Bandscheibendruckkraft (keine Schwelle entsprechend 0 kN), für die Rumpfvorneigung (20°) sowie für die Tagesdosis (keine Schwelle entsprechend 0 kNh) verbunden. Daher wurde aufgrund des Kriteriums „nach Möglichkeit mittlere Schwellen“ letztendlich Dosismodell 5 mit den Schwellen 2,0 kN für Bandscheibendruckkräfte bei Lastenhandhabungen, 45° für Rumpfvorneigungen ohne Lastenhandhabung und fehlender Tagesdosischwelle (0 kNh) als Grundmodell ausgewählt.

Separate Variation der Eigenschaften des Grundmodells

Die Variation der Eigenschaften des vereinbarten Grundmodells zur Bestimmung von Tagesdosiswerten erfolgte separat, d. h., die Schwellen zu Tagesdosis, Bandscheibendruckkraft und Rumpfvorneigung sowie die optionale Einbeziehung von Hebe-Trage-komplementä-

ren Formen der Lastenhandhabung wie Ziehen und Schieben, Fangen und Werfen oder auch Kraftaufwendungen wurden nacheinander modifiziert. Hierbei wurden die jeweils anderen 3 Eigenschaften des Grundmodells beibehalten. Eine Besonderheit stellt das sog. BSG-Modell dar, dessen Eigenschaften den Angaben im zuvor erläuterten Urteil des BSG ([14]; s. auch Abschn. „Hinweise des Bundessozialgerichts“) entsprechen und sich in mehreren Merkmalen vom Grundmodell unterscheiden. Die Berechnung der korrespondierenden Lebensdosiswerte erfolgte mit einheitlicher Vorgehensweise durch Summation der Tagesdosen über das Berufsleben bis zur Diagnosestellung (Fallprobanden) bzw. Expositionserhebung (Kontrollprobanden).

Modellübersicht. In ■ **Tab. 2** sind die insgesamt 30 verschiedenen kumulativen Dosismodelle mit ihren Merkmalen – Schwellen und Lastenhandhabungsformen – aufgeführt und 5 Modellgruppen zugeordnet. Dabei zeigt die 2. Spalte die gewählte Nummerierung der Modelle der DWS2, denen Ordnungszahlen ab 101 zur eindeutigen Unterscheidung von Modellen der DWS1 mit den Modellnummern 1–10 zugewiesen wurden. Das gewählte Grundmodell – Nr. 5 im Zusammenhang mit der DWS1 – wurde hierbei unnummeriert in Nr. 101, ist in ■ **Tab. 2** durch Fettdruck hervorgehoben und ist, da den Ausgangspunkt für Merkmalsvariationen bildend, in jeder Modellgruppe vorhanden. Wie ■ **Tab. 2** verdeutlicht, weist die Modellgruppe 1 diejenigen Dosismodelle aus, bei denen ausschließlich die Tagesdosischwelle zwischen „nichtvorhanden“ bei Dosismodell 101 (0 kNh) bis 10 kNh bei Nr. 108 verändert wurde. Analog wurden in Modellgruppe 2 ausschließlich die Druckkraft- und in Modellgruppe 3 nur die Rumpfvorneigungsschwelle variiert; die entsprechenden Schwellenwerte betragen zwischen 2,0 und 12,0 kN bzw. 20° und 90°. Die Modellgruppen 4 und 5 umfassen jeweils nur 2 Modelle: In Modellgruppe 4 befindet sich neben dem Grundmodell 101 das mit identischen Schwellen versehene Modell (Nr. 117), bei dem allerdings Lastenhandhabungen auf Heben und Tragen beschränkt sind. In Modellgruppe 5 werden das Grund- und das

Tab. 2 In der DWS2 verwendete 30 Dosismodelle

Dosismodell-Nr.	Schwellen			Lastenhandhabung außer Heben oder Tragen
	Tagesdosis (kNh)	Druckkraft (kN)	Rumpfvorneigung (°)	
Modellgruppe 1				
101	0	2,0	45	ja
201	0,5			
202	1,0			
102	2,0			
103	3,0			
104	4,0			
105	5,0			
106	6,0			
107	8,0			
108	10,0			
Modellgruppe 2				
101	0	2,0	45	ja
109		2¼		
110		2½		
111		2¾		
112		3,0		
113		3¼		
203		3½		
204		4,0		
205		4½		
206		5,0		
207		5½		
208		6,0		
209		7,0		
210		8,0		
211		10,0		
212		12,0		
Modellgruppe 3				
114	0	2,0	20	ja
101			45	
115			75	
116			90	
Modellgruppe 4				
117	0	2,0	45	nein
101				ja
Modellgruppe 5				
118 (M)	0	2,7	90	nein
101		2,0	45	ja

Berechnung der Tagesdosis bei separater Variation der Modelleigenschaften – ausgehend von den Eigenschaften des „Grundmodells“ Nr. 101 (**fett**) – mit Kennzeichnung der zunächst verwendeten 18 Dosismodelle (Nr. 101–118), ergänzt um 12 nachträglich definierte Dosismodelle (Nr. 201–212) mit weiteren Tagesdosis- und Druckkraftschwellen (**kursiv**); Dosismodell 118 repräsentiert das „BSG-Modell“ mit 3 Merkmaländerungen relativ zum Grundmodell.

BSG-Modell verglichen, das aufgrund der seinerzeitigen Sachlage nur auf Männer angewendet werden kann bzw. darf, als Schwellenwerte eine Druckkraft von 2,7 kN und eine Rumpfvorneigung von 90°, aber keine Mindesttagesdosis vor-

sieht und weitergehende Formen der Lastenhandhabung außer Heben und Tragen unberücksichtigt lässt.

Die Nummerierung der Dosismodelle und die Art der Darstellung in der 2. Spalte von links in **Tab. 2** deuten darauf hin,

dass die Auswahl der zu prüfenden Modelleigenschaften bzw. Definierung von Dosismodellen für die separate Merkmalsvariation in 2 Stufen erfolgte: Zunächst wurden die „100er-Modelle“ hinsichtlich der Anpassung der jeweils unterstellten Dosis-Wirkung-Zusammenhänge geprüft, jedoch veranlassten die Ergebnisse zu Tagesdosis- und Druckkraftschwellen entsprechende Erweiterungen des zu prüfenden Modellspektrums. Die in einem 2. Auswertungsabschnitt zugefügten Dosismodelle wurden zur Verdeutlichung der Nachvollziehbarkeit als „200er-Modelle“ bezeichnet und sind in der Tabelle daher eingerückt sowie durch Kursivdruck hervorgehoben.

Vor dem Hintergrund eines relativ großen Abstands der beiden niedrigsten Schwellen der Tagesdosis (0 bzw. 2,0 kNh) und hohen Anpassungsgüten für beide Schwellen – die Ausprägung war FG-spezifisch – wurden auch zwischenliegende Werte (0,5 und 1,0 kNh in Dosismodell 201 bzw. 202) in die Prüfung einbezogen. Hohe Anpassungsgüten ergaben sich ebenfalls für die zunächst untersuchten Modelle mit Druckkraftschwellen bis 3¼ kN, sodass insbesondere nicht abgeschätzt werden konnte, ob nicht Dosismodelle mit noch höheren Schwellen bessere Anpassungen böten. Um das vermutete „Abreißen“ der Anpassungsgüte mit Erhöhung der Druckkraftschwelle zu verifizieren, wurden daher ebenso Dosismodelle mit sehr hohen Werten – bis 12,0 kN bei Nr. 212 – untersucht. Ausführliche Erläuterungen zur Vorgehensweise und zu den Ergebnissen finden sich bei Morfeld et al. [32] bzw. Seidler et al. [44].

Wirkung der Variation auf die Tagesdosis. Mithilfe von **Abb. 3** soll die Wirkung der Anwendung von Schwellen bei der Berechnung von kumulierten Dosen anhand von 6 Beispielen verdeutlicht werden. Jedes der 6 Diagramme enthält annähernd 9000 Punkte entsprechend der Zahl insgesamt ausgewerteter „typischer Schichten“, die innerhalb des TAD-Interviews der DWS zur Expositionsbeschreibung von Fall- und Kontrollprobanden dokumentiert wurden. Korrespondierende Darstellungen zur Wirkung von Schwellenvariationen auf die Lebensdosis sind im wissenschaftlichen Schluss-

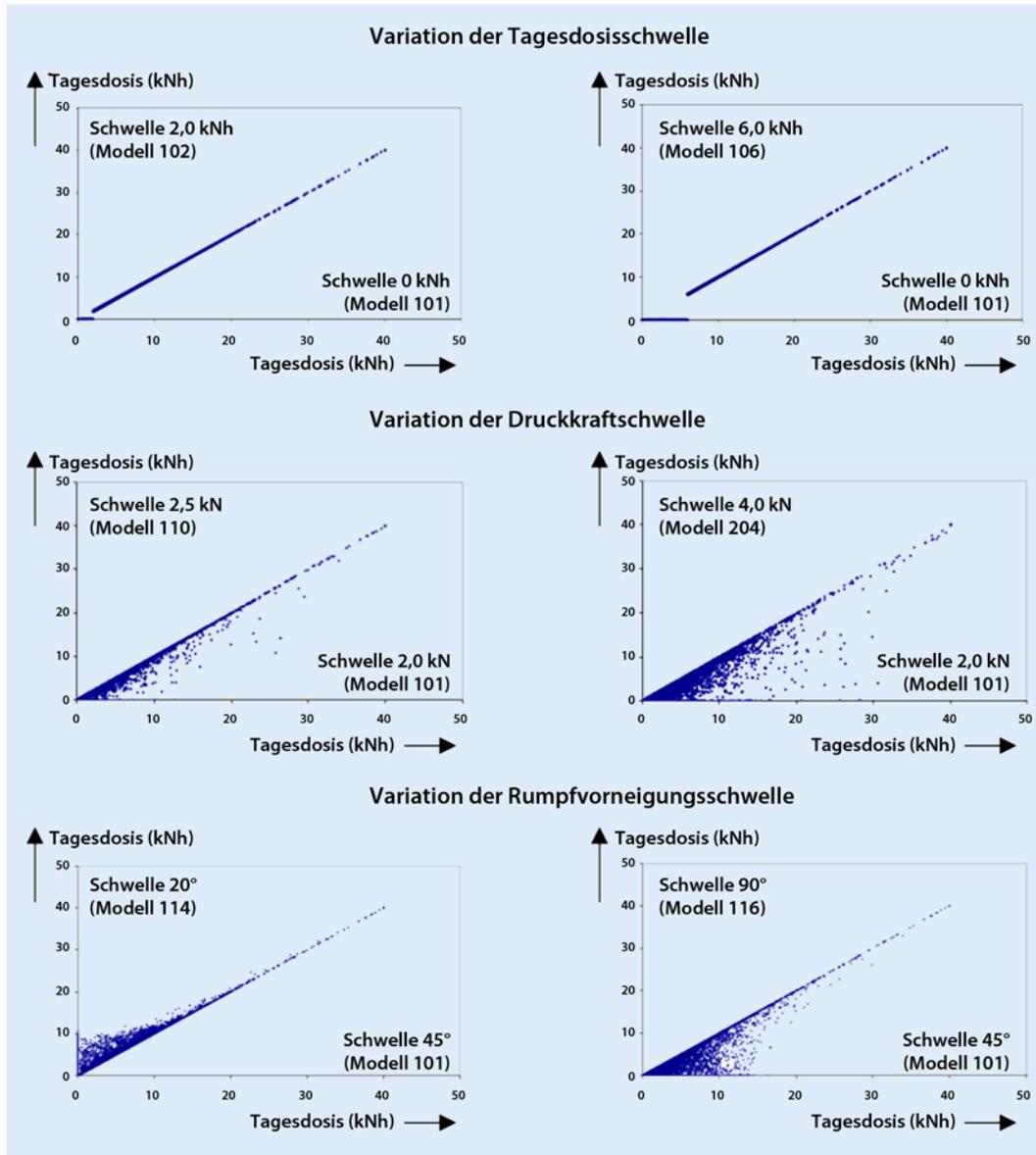


Abb. 3 ◀ Beispiele für die Wirkung von Schwellen bei der Berechnung von Tagesdosen, hier anhand von Vergleichen zu den Dosiswerten des Grundmodells der DWS2 (jeweils an der Abszisse) bei Anwendung von eher liberalen Schwellen (*links*) und eher rigiden Schwellen (*rechts*) der Tagesdosis (*oben*), Druckkraft (*Mitte*) und Rumpfvorneigung (*unten*)

bericht zur DWS2 enthalten [43]. Innerhalb der Diagramme von **Abb. 3** werden die Tagesdosiswerte des für die Darstellung ausgewählten Dosismodells an der Ordinate abgetragen und den Tagesdosiswerten des Grundmodells an der Abszisse gegenübergestellt. *Links* in **Abb. 3** sind die Ergebnisse für die Anwendung vergleichsweise niedriger Schwellenwerte zur Tagesdosis (*oben*), Druckkraft (*Mitte*) und Rumpfvorneigung (*unten*) gezeigt. Der rechte Teil der Ergebnisse resultiert aus der Anwendung relativ hoher Schwellenwerte (*oben* Tagesdosis; *Mitte* Druckkraft; *unten* Rumpfvorneigung).

Das Diagramm *oben links* in **Abb. 3** verdeutlicht, dass sehr viele Datenpunkte auf der Identitätslinie liegen und dass

allerdings in Nähe des Koordinatenursprungs die Ordinatenwerte „auf 0 gesetzt wurden“. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Dosismodell 101 vereinbarungsgemäß keine Tagesdosischwelle aufweist, während Dosismodell 102 eine Schwelle von 2,0 kNh vorsieht. Demzufolge sind mit Zunahme der Werte auf der x-Achse bis 2,0 kNh die korrespondierenden Werte auf der y-Achse 0, während oberhalb dieser Schwelle die berechneten Dosiswerte bei Anwendung der Modelle 101 und 102 identisch sind, weil sie bis auf die Tagesdosischwelle gleiche Eigenschaften aufweisen. Dies bedeutet für die Aufsummierung von Tagesdosiswerten zur Berechnung von Lebensdosen, dass bei Anwendung von Dosismodell 102 nur

die Tagesdosiswerte ab 2,0 kNh einbezogen werden, bei Dosismodell 101 sämtliche Tagesdosen, d. h. auch die etwa 1050 Schichten mit einer Tagesdosis von >0 bis <2,0 kNh. Es ist offensichtlich, dass dieser Effekt durch die unterschiedliche Häufigkeit des Auftretens der jeweiligen „typischen“ Schicht mehr oder weniger stark ausgeprägt in die Lebensdosis eingeht. Etwa 3300 Punkte liegen im Koordinatenursprung, da bei Berechnung der Tagesdosis gemäß den Merkmalen beider Dosismodelle (Nr. 101 und 102) ein Wert von 0 berechnet wurde (sogenannte Null-Null-Werte).

Analog zum Diagramm *oben links* zeigt auch das *obere rechte* Diagramm in **Abb. 3** die Wirkung der Anwendung

einer Tagesdosischwelle. Allerdings gilt ein Mindestwert von 6,0 kN_H entsprechend Dosismodell 106 anstatt 2,0 kN_H nach Nr. 102, wodurch sämtliche Tätigkeiten, die aufsummiert über die Schicht eine Tagesdosis bis zu diesem Wert führen, bei der Lebensdosisakkumulation unberücksichtigt bleiben. Durch diese vergleichsweise rigide Schwelle werden etwa 3500 Schichten bezüglich der Tagesdosis – und somit auch hinsichtlich der damit verbundenen Relevanz für die Erkrankungsentstehung – „auf 0 gesetzt“. Dies bedeutet, dass bei Anwendung dieser Schwelle etwa drei Viertel der 9000 typischen Schichten „verworfen“ werden, d. h., bei Anwendung dieses Modells werden nur sehr belastungsintensive Schichten einbezogen.

Die beiden in der *Mitte* von **Abb. 3** dargestellten Diagramme verdeutlichen die Auswirkung verschiedener Druckkraftschwellen: 2,5 kN *links* aus Dosismodell 110 und 4,0 kN (Nr. 204) *rechts*, jeweils in Relation zum Grundmodell (Nr. 101), das eine 2,0-kN-Schwelle aufweist. Im *linken* Diagramm ist ersichtlich, dass durch Anwendung einer höheren Schwelle die Tagesdosis der jeweiligen Schicht zwar verringert wird, da Lastenhandhabungen, die mit einer Bandscheibendruckkraft zwischen 2,0 und 2,5 kN verbunden sind, bei der Dosisakkumulation unberücksichtigt bleiben; dies betrifft etwa 2000 Dosiswerte. Es zeigt sich aber auch, dass dadurch die Tagesdosis i. Allg. nicht auf 0 zurückgeht und sich im Gegensatz zu zuvor (*obere Diagramme* in **Abb. 3**) keine „Nulllinie“ nahe dem Koordinatenursprung ausbildet. Darüber hinaus ist ersichtlich, dass aufgrund der relativ geringen Schwellendifferenz (2,0 zu 2,5 kN) viele Punkte auf der Identitätslinie liegen (ca. 3700 ohne Null-Null-Werte). Bei größerer Differenz der Schwellen – wie *rechts* anhand von 4,0 zu 2,0 kN entsprechend den Dosismodellen 204 vs. 101 dargestellt – wird eine erhöhte Anzahl von etwa 4350 Dosiswerten im Vergleich zum Grundmodell 101 verringert, ebenso der Anteil der Punkte auf der Identitätslinie (ca. 1350).

Ein ähnliches Verhalten wie bei der Variation der Druckkraftschwelle für Lastenhandhabungen zeigt sich bei der Anwendung verschiedener Mindestwerte

für die Rumpfvorneigung bezüglich Körperhaltungen ohne Lastenhandhabung, das im *unteren Teil* von **Abb. 3** dargestellt ist. Abweichend von den bisher erläuterten Vergleichen ist hier angenommen, dass die Schwellen sowohl „liberaler“ mit 20° gemäß Dosismodell 114 als auch „strenger“ mit 90° gemäß Nr. 116 als die Neigungsschwelle von 45° des Grundmodells angenommen wurden. Somit zeigen sich im *linken Diagramm* Abweichungen von der Identitätslinie zu höheren Werten hin und im *rechten Diagramm* zu niedrigeren Dosen hin. Die Anzahl der Abweichungen nach oben bedeutet, dass mehr Körperhaltungssituationen bei der Dosisakkumulation eingehen; dies betrifft nahezu 3900 Schichten, d. h., derart viele Schichten weisen in der TAD-Expositionsdocumentation Körperhaltungen mit einer Rumpfvorneigung von ca. 20° auf (ohne Lastenhandhabung). Für ca. 2300 Schichten ergeben sich identische Dosiswerte für die Modelle 114 und 101 (20° vs. 45°; ohne Null-Null-Werte). Umgekehrt ist das Verhalten beim Vergleich der Dosismodelle 116 und 101: Bei Anwendung der rigideren Schwelle von 90° wurden bei ca. 3900 niedrigere Dosen errechnet; dies bedeutet, dass bei derart vielen Schichten lastenhandhabungsfreie Körperhaltungen von 45° dokumentiert sind. Bei etwa 1800 Schichten (ohne Null-Null-Werte) liegen die Tagesdosiswerte auf der Identitätslinie.

Insgesamt zeigen die exemplarisch vorgestellten Diagramme und Diagrammvergleiche die Wirkungen der Variation von Schwellen zur Tagesdosis, Bandscheibendruckkraft bei Lastenhandhabungen und Rumpfvorneigung bei Körperhaltungen ohne Lasten auf die Tagesdosis. Diese Beispiele sollen verdeutlichen, welche massive Änderungen bezüglich der Schätzung von Wirbelsäulenbelastungen auftreten, wenn die Dosismodelleigenschaften und somit die Kriterien, ab wann eine Tätigkeit als relevant hinsichtlich der Entwicklung bandscheibenbedingter LWS-Erkrankungen angesehen werden oder werden sollen, modifiziert werden.

Ableitung von Kombinationsmodellen

Wie im unteren Teil von **Infobox 1** angeführt, wurden nach der separaten Va-

riation von 4 Modelleigenschaften – Bandscheibendruckkraft, Rumpfvorneigung, Tagesdosis, optionale Einbeziehung von Lastenhandhabungen zusätzlich zu Heben und Tragen – die Erkrankungsrisiken für alle Dosismodelle anhand von kontinuierlichen Verläufen des „odds ratio“ („OR-Kurven“) berechnet; zudem wurde die Anpassungsgüte aller Dosis-Wirkung-Modelle quantifiziert. Diese Berechnungen erfolgten getrennt für die 4 FG (Männer/Frauen mit Prolaps/Chondrose) mithilfe von fraktionalem Polynom 2. und 4. Grades (zur Methodik: Morfeld et al. [32] und zu den Ergebnissen: Seidler et al. [44]). Derartige Dosis-Wirkung-Analysen wurden auch für das BSG-Modell durchgeführt, das sich nicht nur in einem Merkmal, sondern in 3 Eigenschaften vom Grundmodell unterscheidet (**Tab. 2**) und somit eine ergänzende Sonderstellung innerhalb des Abschn. „Separate Variation von Modelleigenschaften“ darstellt.

Die Ergebnisse zur Bestimmung von OR-Kurven für alle Dosismodelle („100er“- und „200er-Modelle“; **Tab. 2**) führten dazu, dass in nachfolgenden FG-spezifischen Berechnungen „optimale Schwellenwerte“ für die 3 Eigenschaften Druckkraft, Rumpfvorneigung und Tagesdosis identifiziert werden sollten, durch deren Kombination sog. Kombinationsmodelle definiert wurden. Als Ordnungsnummern wurden 301 und folgende zugeordnet („300er-Dosismodelle“). Dazu wurden die jeweiligen Ausprägungen der Modelleigenschaften informationsgewichtet gemittelt. Diese „1. Multi-Modell-Analyse“ bedeutet beispielsweise, dass die Werte der Druckkraftschwelle aller Dosismodelle innerhalb der zugehörigen Konfidenzmenge – dies sind die sog. bestangepassten Dosis- oder Bestmodelle – gewichtet gemittelt wurden und dass als Maß der Wichtung die Anpassungsgüte des Dosismodells bei der separaten Schwellenwertvariation herangezogen wurde. Es ist offensichtlich, dass eine solche Mittelung in der Regel nicht zu „glatten“ Werten für eine Schwelle führt; daher wurde *a priori* festgelegt, dass die jeweils nächstliegende aus dem Spektrum der in der DWS2 verwendeten Schwellen gewählt wird.

Tab. 3 In der DWS2 verwendete 20 Kombinationsdosismodelle							
Fallgruppe	Dosismodell-Nr.	Schwellen			Lastenhandhabung außer Heben oder Tragen	Ermittlung der Druckkraft	
		Tagesdosis (kNh)	Druckkraft (kN)	Rumpfvorneigung (°)			
Kombinationsmodelle							
1	301	2,0	3,2	45	ja	Modellrechnung via <i>Der Dortmunder</i>	
	302			75			
2	303	0,5	2,5	45			
	304			75			
3	305	2,0	4,0	45			
	306			75			
4	307 ^a	0,5	2,2	45			
	308 ^a			75			
Nebenanalyse							
4	309	0,5	2,7	45	Schätzung via <i>DWS2-Bestimmungsgleichungen</i>		
	310			75			
Kombinationsmodelle							
1	401	2,0	3,2	45		ja	
	402			75			
2	403	0,5	2,5	45			
	404			75			
3	405	2,0	4,0	45			
	406			75			
4	407 ^a	0,5	2,2	45			
	408 ^a			75			
Nebenanalyse							
4	409	0,5	2,7	45	Schätzung via <i>DWS2-Bestimmungsgleichungen</i>		
	410			75			

Berechnung der Tagesdosis bei gleichzeitiger Variation mehrerer Modelleigenschaften relativ zum Grundmodell; für beide Arten der Druckkraftermittlung wurden 8 Dosismodelle (Nr. 301–308, 401–408) definiert, ergänzt um je 2 zusätzliche Modelle einer „Nebenanalyse“ für FG 4 (Nr. 309/310, 409/410).

^aInzwischen obsolete Modelle; die Kombinationsmodelle für FG 4 entsprechen letztendlich denen für FG 2.

Übersicht der Modelleigenschaften. In **Tab. 3** sind die aus der 1. Multi-Modell-Analyse abgeleiteten Kombinationsmodelle für die 4 FG anhand der Modelleigenschaften dargestellt. Diese Tabelle enthält jedoch nicht nur Angaben zu den zuvor erwähnten 300er-Modellen, bei denen die Ermittlung der Bandscheibendruckkraft mithilfe biomechanischer Modellrechnungen durch Anwendung des Simulationswerkzeugs „Der Dortmunder“ erfolgte. Dieses Modellspektrum wurde ergänzt um jeweils korrespondierende Modelle mit identischen Eigenschaften mit Ausnahme der Art der Druckkraftbestimmung. In den sogenannten 400er-Modellen (Ordnungsnummer ab 401, *unterer Teil* in **Tab. 3**) basiert die Druckkraftermittlung auf 11 „Bestimmungsgleichungen“ (zur Ableitung: Ditchen et al. [15]), bei denen aus Lastgewicht sowie kategorisierten Angaben zur Körperhal-

tung, Handhabungsart und Lastposition die Bandscheibendruckkraft analog zu den 7 „Schätzgleichungen“ im MDD [19] semikategorial bestimmt werden kann und mit denen somit aufwendige Simulationsrechnungen entfallen können.

Wie **Tab. 3** zeigt, wurden für jede der 4 FG 2 Kombinationsmodelle abgeleitet, beispielsweise für FG 1 (Männer mit Prolaps) die Modelle 301 und 302, die identische Merkmale bis auf die Schwelle der Rumpfvorneigung aufweisen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich aus der 1. Multi-Modell-Analyse für die FG 1–3 zunächst die optimale Schwelle von 45° ergeben hatte, für FG 4 jedoch 75°. Um die Möglichkeit einer Einigung auf einheitliche Modelle für Männer (FG 1, FG 3) bzw. Frauen (FG 2, FG 4) offenzuhalten, wurden in den weiteren Zusammenhangsanalysen jeweils 2 Modelle mit den Schwellen 45° und 75° einbezogen.

Neben diesen 4 Dosismodellpaaren für die FG 1–4 (Nrn. 301–308 und 401–408) der „Hauptanalyse“ wurden ausschließlich bei FG 4 jeweils 2 weitere Kombinationsmodelle definiert (Nrn. 309 und 310 bzw. 409 und 410), die in einer „Nebenanalyse“ verwendet wurden. Bei den FG 1–3 fielen Haupt- und Nebenanalyse zusammen, d. h., die jeweilig abgeleiteten Dosismodelle waren identisch (detaillierte Erläuterungen: [43]).

Die Durchführung von 2 Untersuchungssträngen mit einer Haupt- bzw. Nebenanalyse in der 1. Multi-Modell-Analyse geht darauf zurück, dass sich bei der separaten Variation von Dosismodelleigenschaften das vermutete Abreißen der Anpassungsgüte mit Erhöhung der Druckkraftschwelle für die FG 1–3 verifizieren ließ, für FG 4 (Frauen mit Chondrose) jedoch nicht. Deshalb gingen bei der Hauptanalyse der 1. Multi-Modell-Analyse nur Dosismodelle mit Druckkraftschwellen bis 6,0 kN bei Männern und 4,0 kN bei Frauen ein; bei der Nebenanalyse wurde diese Einschränkung nicht vorgenommen. Daher ist die Druckkraftschwelle bei den Modellen 309/310 sowie 409/410 mit 2,7 kN höher als die der Modelle 307/308 bzw. 407/408 (2,2 kN). Die zuletzt genannte Druckkraftschwelle und somit die Modelle 307/308 bzw. 407/408 stellten sich letztendlich als obsolet heraus. Auf Basis erneut durchgeführter Multi-Modell-Berechnungen für FG 4 nach Fehlerbereinigung ergab sich für FG 4 in der Hauptanalyse eine identische Druckkraftschwelle von 2,5 kN wie für FG 2.

Unterscheidungskriterium für Haupt- und Nebenanalyse. Die gewählten Grenzen von 6,0 und 4,0 kN für Männer bzw. Frauen als Unterscheidungsmerkmal für Haupt- und Nebenanalyse leiten sich aus dem Kriterium ab, dass die Ermittlung der Bestmodelle die „relevant häufig vorkommenden Belastungen“ einbeziehen sollte, d. h., die Prüfung der Dosis-Wirkung-Beziehung sollte nicht auf nur selten auftretenden Vorgängen basieren. Als Grenze wurde der Wert 95% aller Vorgänge bis zur Diagnosestellung vereinbart; als Grundlage wurden Zusatzanalysen zur DWS herangezogen [29]. Die Häufigkeitsverteilungen von Druckkräften, die ent-

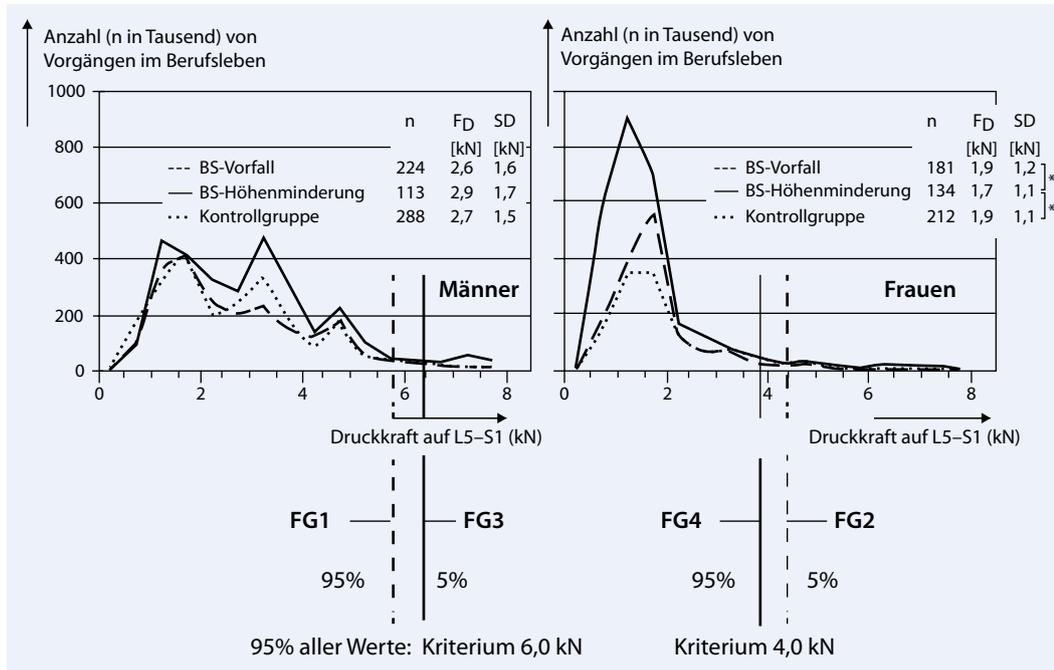


Abb. 4 Erläuterungen zur Ableitung des Häufigkeitskriteriums für Bandscheibendruckkräfte (d. h. für die Anzahl von Belastungsvorgängen innerhalb des Berufslebens, die mit einer gewissen Druckkraft auf die lumbosakrale Bandscheibe einhergehen) zur Unterscheidung der Haupt- und Nebenanalyse anhand der Häufigkeitsverteilungen der Druckkräfte und ergänzenden statistischen Kennwerten (eingefügte Tabellen), für männliche (*links*) und weibliche Probanden (*rechts*); Mittelwert: Bandscheibendruckkraft (F_D); Klassenbreite: 0,5 kN. (Adaptiert nach [29])

sprechend den Angaben im TAD-Expositionsinterview und nachfolgenden biomechanischen Simulationsrechnungen innerhalb des Berufslebens aufgetreten sind, sind in **Abb. 4** für die 4 FG sowie die beiden Kontrollgruppen gezeigt. Die Häufigkeitsdiagramme sind in Linienzugdarstellung, klassiert in 0,5-kN-Schritten, abgebildet, um den Vergleich für die jeweils 3 Subgruppen (Bandscheibenvorfall/Prolaps, Bandscheibenhöhenminderung/Chondrose, Kontrolle) in den beiden Diagrammen für Männer (*links*) und Frauen (*rechts*) zu erleichtern.

Die Häufigkeitsverteilungen in **Abb. 4** verdeutlichen, dass hohe Häufigkeiten bei Männern bis etwa 6,0 kN und bei Frauen bis etwa 4,0 kN zu finden sind. Dies bedeutet insbesondere für das Belastungsprofil von Frauen, dass relativ häufig Belastungen mit vergleichsweise niedrigen Druckkräften auftreten und dass diese auf Körperhaltungen ohne Last sowie Lastenhandhabungen mit relativ niedrigen Lastgewichten zurückzuführen sind. In Anbetracht der hohen Anpassungsgüten von Dosismodellen mit sehr hohen Druckkraftschwellen bei FG 4 – wie erwähnt ließ sich ein „Abreißen“ der Anpassungsgüte mit zunehmenden Werten der Druckkraftschwelle bis 12,0 kN nicht verifizieren – wurde aus der FG-4-Druckkraft-Häufigkeitsverteilung geschlossen, dass auch noch höhe-

re Schwellenwerte zu ähnlich guten Anpassungen führen würden. Die Druckkraftschwelle bezieht sich vereinbarungsgemäß auf die Handhabung von Lasten, und somit bleiben Körperhaltungsexpositionen durch die Anwendung von Druckkraftschwellen – auch von noch höheren – unbeeinflusst. Dies deutet darauf hin, dass die berechneten Dosis-Wirkung-Zusammenhänge und auch die Anpassungsgüten im Wesentlichen auf Körperhaltungsexpositionen und Handhabungen leichter Lasten basieren. Demzufolge wurden die für FG 4 gefundenen hohen Anpassungsgüten von Dosismodellen mit sehr hohen Druckkraftschwellen zwar als statistisch korrektes Ergebnis gewertet, das jedoch der Hinterfragung nach inhaltlicher Plausibilität bedarf.

Dosis-Wirkung-Beziehungen und Risikoverdoppelung

Die DWS-Richtwertestudie zielt im Wesentlichen auf die Ableitung von epidemiologisch gestützten Richtwerten in den zur Prüfung der arbeitstechnischen Voraussetzungen in BK-2108-Verfahren herangezogenen Dosismodellen zur quantitativen Beschreibung der kumulativen Belastung der LWS. Während in den oben stehenden Abschnitten die Ableitung wissenschaftlich basierter Richtwerte für Bandscheibendruckkraft, Rumpfvornei-

gung und Tagesdosis beschrieben wurde, wird im Folgenden die Vorgehensweise bei der Ableitung von Lebensdosisrichtwerten erläutert.

Die finale Beschreibung der Dosis-Wirkung-Zusammenhänge bei den 4 FG, auf deren Basis die Ableitung von Dosiswerten geprüft werden sollte, die einer Risikoverdoppelung entsprechen, erfolgte nicht anhand der Kombinationsmodelle. Dies ist darauf zurückzuführen, dass diese zwar die optimalen Schwellen für Druckkraft, Rumpfvorneigung und Tagesdosis aus separater Eigenschaftsvariation aufweisen; allerdings müssen diese durch Merkmalkombination definierten Dosismodelle nicht notwendigerweise eine höhere Anpassungsgüte aufweisen als ein gut anpassendes „Einzelmodell“ der 100er- oder 200er-Gruppe. Daher wurden in einer 2. Multi-Modell-Analyse, für die 4 FG getrennt, alle Dosis-Wirkung-Zusammenhänge (OR-Kurven) der in der jeweiligen Konfidenzmenge enthaltenen Einzelmodelle informationsgewichtet gemittelt. Hierbei wurden als FG-einheitliche Abszisse die Dosiswerte des jeweiligen Kombinationsmodells genutzt (Methodik: Morfeld et al. [32] und Ergebnisse: Seidler et al. [44]). Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da die Abszissen der OR-Kurven je nach zugrunde liegendem Dosismodell verschiedene Werte und Wertebereiche und somit verschiedene „Abbil-

„dungsmaßstäbe“ aufweisen. Das FG-spezifische Kombinationsmodell fungierte als Referenzmodell, und die Dosiswerte bei Nutzung des Kombinations-/Referenzmodells stellen somit Referenzdosen dar.

Als Ergebnis der 2. Multi-Modell-Analyse ergeben sich für die 4 FG „finale OR-Kurven“, die an der Ordinate das Risiko für die Entwicklung bandscheibenbedingter Erkrankungen im Sinne der BK 2108 über der Lebensdosis an der Abszisse quantitativ beschreiben. Diese finalen OR-Kurven wurden dann dazu genutzt, den Schnittpunkt der Kurve mit dem OR-Wert von 2, der dem Verdoppelungsrisiko entspricht, abzugreifen. Dieser Schnittpunkt gibt somit die Lebensdosis bei Risikoverdoppelung – oder kurz „Verdoppelungsdosis“ – an. Zusätzlich zu den aus dem Mittelungsprozess resultierenden finalen OR-Kurven wurden auch die oberen und unteren Konfidenzgrenzen in Kurvenform berechnet, aus denen der Vertrauensbereich für die Verdoppelungsdosis, sofern möglich, abgeleitet wurde.

Fazit

- Die DWS-Richtwertestudie stellt eine erweiterte Auswertung der Deutschen Wirbelsäulenstudie (DWS) dar.
- Die DWS hat den Nachweis eines Dosis-Wirkung-Zusammenhangs zwischen physischen Belastungen durch Lastenhandhabung und belastungsintensiven Körperhaltungen einerseits sowie der Entwicklung bandscheibenbedingter Erkrankungen der LWS andererseits erbracht.
- Es fanden sich statistisch gesicherte erhöhte Risiken für alle 4 FG (insgesamt 915 Männer und Frauen mit Prolaps oder Chondrose) im Vergleich zu Kontrollprobanden aus der Wohnbevölkerung (insgesamt 901).
- Um die vorgenannten verschiedenen Formen physischer Belastungen zusammenfassen zu können, wird als Maß der „situativen Lumbalbelastung“ für jeden relevanten Vorgang die Druckkraft an der lumbosakralen Bandscheibe bestimmt sowie entsprechend der Vorgangsdauer und -häufigkeit zu einer kumulierten Dosis aufsummiert („kumulative Lumbalbelastung“).

- Innerhalb des für die Prüfung der arbeitstechnischen Voraussetzungen in Berufskrankheitenfeststellungsverfahren eingesetzten MDD werden Richtwerte, ab denen Bandscheibendruckkräfte, Rumpfvorneigungen und Tagesdosen in die Lebensdosisakkumulation einbezogen werden, verwendet, die sich an den Angaben im Merkblatt zur BK 2108 orientieren. Die in der DWS identifizierten Dosismodelle mit höchster Anpassungsgüte der Dosis-Wirkung-Beziehung wiesen jedoch Schwellenwerte unterhalb denen des MDD auf. Zudem waren dabei auch Lastenhandhabungen wie Ziehen und Schieben zusätzlich zu Heben oder Tragen schwerer Lasten miteingeschlossen.
- Vor diesem Hintergrund sollten in der DWS2 wissenschaftlich fundierte Dosismodelle mit geeigneten Merkmalen und insbesondere Richtwerten definiert werden, woraus sich die Bezeichnung „DWS-Richtwertestudie“ ableitet.
- In vorgeschalteten Untersuchungen wurden das bisher übliche Konzept einer überproportionalen, quadratischen Wichtung der Bandscheibendruckkraft relativ zur Vorgangsdauer sowie das Prinzip, dass die Druckkraft bei relevanten Vorgängen mit ihrem „vollen“ oder „absoluten“ Wert in die Dosisakkumulation eingeht („Vollwertberücksichtigung“), hinterfragt und letztendlich bestätigt.
- Auf Basis zahlreicher Einzelmodelle mit separater Variation der Modelleigenschaften – Schwellen für Bandscheibendruckkraft bei Lastenhandhabung, Rumpfvorneigung bei Körperhaltungen ohne Lastenhandhabung, Tagesdosis und optionale Einbeziehung von Handhabungsformen zusätzlich zu Heben und Tragen – wurden für die weiteren Analysen des Dosis-Wirkung-Zusammenhangs fallgruppenspezifische kumulative Kombinationsdosismodelle definiert und zur Ableitung der jeweiligen Verdoppelungsdosis genutzt.
- Detaillierte Erläuterungen zur Methodik und zu vielfältigen Ergebnissen finden sich in korrespondierenden Beiträgen von Morfeld et al. in diesem

Themenheft sowie von Bergmann et al., Ditchen et al. und Seidler et al. im nächsten Themenheft der Zeitschrift *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*.

Korrespondenzadresse

PD Dr. M. Jäger

Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfAdo)
Ardeystr. 67, 44139 Dortmund
mjaeger@ifado.de

Danksagung. Diese Forschungsarbeit wurde mit Mitteln der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. M. Jäger, C. Jordan, J. Voß, A. Bergmann, U. Bolm-Audorff, D. Ditchen, R. Ellegast, J. Haerting, E. Haufe, O. Kuß, P. Morfeld, K. Schäfer, A. Seidler und A. Luttmann geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Der Beitrag enthält keine Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

1. Akaike H (1973) Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: Petrov BN, Csaki F (Hrsg) Second International Symposium on Information Theory. Akademiai Kiado, Budapest
2. Arge Bau, Arbeitsgemeinschaft der Bau-Berufsgenossenschaften (1993) BK-Nr. 2108 und 2109, Dokumentation des Belastungsumfanges, Maurer im Hochbau (unveröffentlichtes Manuskript). Frankfurt a. M.
3. Becker P (2001) Die arbeitstechnische Voraussetzung bei der Wirbelsäulen-BK Nummer 2108. Sozialgerichtsbarkeit 48:488–498
4. Bergmann A, Bolm-Audorff U, Ditchen D et al (2014) Lumbaler Bandscheibenvorfall mit Radikularsyndrom und fortgeschrittene Osteochondrose – Prävalenzschätzung für die Allgemeinbevölkerung in der DWS-Richtwertestudie. *Zbl Arbeitsmed* 64. DOI 10.1007/s40664-014-0034-4
5. Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) (1995) Belastungskataster BK 2108, Stand 10/95. (unveröffentlichtes Manuskript). Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege, Mainz
6. Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung (1992) Zweite Verordnung zur Änderung der Berufskrankheiten-Verordnung. *Bundesgesetzblatt I* 59:2343–2344
7. Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung (1993) Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2108. *Bundesarbeitsblatt* 3:50–53
8. Bolm-Audorff U (1993) Berufskrankheiten der Wirbelsäule durch Heben oder Tragen schwerer Lasten. In: Konietzko J, Dupuis H (Hrsg) *Handbuch der Arbeitsmedizin*, Kap. IV–7.8.3, 10. Erg.-Lfg. ecomed, Landsberg/Lech

9. Bolm-Audorff U (1998) Einfluß arbeitsmedizinisch-epidemiologischer Erkenntnisse auf die Codifizierung der berufsbedingten Bandscheibenerkrankung. In: Kügelgen B, Böhm B, Schröfer F (Hrsg) Neuroorthopädie VII – Lumbale Berufskrankheit. Zuckschwerdt, München, S 264–276
10. Bolm-Audorff U, Bergmann A, Ditschen D et al (2007) Epidemiologische Fall-Kontroll-Studie zur Untersuchung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen bei der Berufskrankheit 2108 (Deutsche Wirbelsäulenstudie), Abschlussbericht. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (Hrsg), Sankt Augustin
11. Bolm-Audorff U, Bergmann A, Ditschen D et al (2007) Zusammenhang zwischen manueller Lastenhandhabung und lumbaler Chondrose – Ergebnisse der Deutschen Wirbelsäulenstudie. Zbl Arbeitsmed 57:304–316
12. Brinckmann P, Biggemann M, Hilweg D (1988) Fatigue fracture of human lumbar vertebrae. Clin Biomech 3(Suppl 1):23
13. Brinckmann P, Frobin W, Biggemann M et al (1998) Quantification of overload injuries to thoracolumbar vertebrae and discs in persons exposed to heavy physical exertions or vibration at the workplace. Part II: occurrence and magnitude of overload injury in exposed cohorts. Clin Biomech 13(Suppl 2):1–36
14. Bundessozialgericht (2007) Az. B 2 U 4/06 R, Urteil vom 30.10.2007
15. Ditschen D, Lundershausen N, Bolm-Audorff U et al (2014) Abschätzung von lumbalen Bandscheibendruckkräften in BK-2108-Verfahren. Entwicklung eines Instruments innerhalb der DWS-Richtwertestudie. Zbl Arbeitsmed 64. DOI 10.1007/s40664-014-0036-2
16. Ellegast R, Ditschen D, Bergmann A et al (2007) Erhebungen zur beruflichen Wirbelsäulenexposition durch die Technischen Aufsichtsdienste der Unfallversicherungsträger im Rahmen der Deutschen Wirbelsäulenstudie. Zbl Arbeitsmed 57:251–263
17. Großhandels- und Lagerei-Berufsgenossenschaft (1995) Grundsätze für die Beurteilung schweren Hebens und Tragens nach BK-Nr. 2108/2109, Stand: 23.01.1995 (unveröffentlichtes Manuskript). Großhandels- und Lagerei-Berufsgenossenschaft, Mannheim
18. Hartung E, Dupuis H (1994) Verfahren zur Bestimmung der beruflichen Belastung durch Heben und Tragen schwerer Lasten oder extreme Rumpfbeugehaltungen und deren Beurteilung im Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren. Berufsgenossenschaft 7:452–458
19. Hartung E, Schäfer K, Jäger M et al (1999) Mainz-Dortmunder Dosismodell (MDD) zur Beurteilung der Belastung der Lendenwirbelsäule durch Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung bei Verdacht auf Berufskrankheit Nr. 2108: Vorschlag zur Beurteilung der arbeitstechnischen Voraussetzungen im Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren. Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 34:112–122
20. Huber G, Paetzold H, Püschel K, Morlock MM (2005) Verhalten von Wirbelsäulensegmenten bei dynamischer Belastung. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Forschung, Fb 1062. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Forschung, Dortmund
21. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (2004) BK-Report 2/03: Wirbelsäulenerkrankungen (BK-Nr. 2108 bis 2110). Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin
22. Jäger M, Luttmann A (1995) Möglichkeiten der biomechanischen Modellrechnung und Beurteilung von Wirbelsäulenbelastungen bei Lastenmanipulationen. In: Pangert R (Redaktion) Heben und Tragen von Lasten – verbesserter Arbeitnehmerschutz durch Umsetzung der Europa-Richtlinie 90/269/EWG, S 15–30. Landesamt für Soziales und Familie, Suhl, und Thüringer Ministerium für Soziales und Gesundheit, Erfurt (Hrsg)
23. Jäger M, Luttmann A, Bolm-Audorff U et al (1999) Mainz-Dortmunder Dosismodell (MDD) zur Beurteilung der Belastung der Lendenwirbelsäule durch Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung bei Verdacht auf Berufskrankheit Nr. 2108: Retrospektive Belastungsermittlung für risikobehaftete Tätigkeitsfelder. Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 34:101–111
24. Jäger M, Luttmann A, Göllner R, Laurig W (2000) Der Dortmund: Biomechanische Modellbildung zur Bestimmung und Beurteilung der Belastung der Lendenwirbelsäule bei Lastenhandhabungen. In: Radandt S, Grieshaber R, Schneider W (Hrsg) Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen. Monade, Leipzig, S 105–124
25. 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
26. Jäger M, Luttmann A, Bolm-Audorff U et al (2002) Kritische Wertung aktueller Anmerkungen zum „Mainz-Dortmunder Dosismodell – MDD“ zur Beurteilung der Wirbelsäulenbelastung bei der BK 2108. Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 37:582–598
27. Jäger M, Geiß O, Bergmann A et al (2007) Biomechanische Analysen zur Belastung der Lendenwirbelsäule innerhalb der Deutschen Wirbelsäulenstudie. Zbl Arbeitsmed 45:264–276
28. Jäger M, Geiß O, Luttmann A et al (2008) Zusammenhang zwischen beruflichen Belastungen durch Lastenhandhabung sowie Erkrankungen der Lendenwirbelsäule – Ergebnisse der Deutschen Wirbelsäulenstudie. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) Produkt- und Produktions-Ergonomie – Aufgabe für Entwickler und Planer. GfA, Dortmund, S 555–559
29. Jäger M, Bergmann A, Bolm-Audorff U et al (2011) Occupational low-back exposure of persons with or without lumbar disc-related diseases: selected results of the German Spine Study EPILIFT. In: Grieshaber R (Hrsg) Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen – 17. Erfurter Tage. Bussert & Stadeler, Jena, S 341–365
30. Kumar S (1990) Cumulative load as a risk factor for back pain. Spine 15:1311–1316
31. Liebers F, Caffier G (2002) Anmerkungen zum Mainz-Dortmunder Dosismodell (MDD) als Verfahren zur retrospektiven Beurteilung der beruflichen Exposition gegenüber Lastenhandhabung und Arbeiten in extremen Körperhaltungen. Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 36:447–457
32. Morfeld P, Ellegast R, Ditschen D et al (2014) Ableitung kumulativer Dosismodelle zur Auswertung physischer Belastungen. Methodik der Multi-Modell-Analyse innerhalb der DWS-Richtwertestudie. Zbl Arbeitsmed 64:169–182
33. Nagel K, Klein A, Püschel K et al (2013) Dependence of spinal segment mechanics on load direction and gender. F2059. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund Berlin Dresden
34. National Institute for Occupational Safety and Health (1981) Work practices guide for manual lifting, No. 81–122. Dept. Health and Human Services, Cincinnati
35. Norman R, Wells R, Neumann P et al (1998) A comparison of peak vs. cumulative physical work exposure risk factors for the reporting of low back pain in the automotive industry. Clin Biomech 13:561–573
36. Pangert R, Hartmann H (1991) Epidemiologische Bestimmung der kritischen Belastung der Wirbelsäule beim Heben von Lasten. Zbl Arbeitsmed 41:193–197
37. Pangert R, Hartmann H (1994) Kritische Dosis für die berufliche Belastung der Lendenwirbelsäule als gutachterliche Entscheidungshilfe. Zbl Arbeitsmed 44:124–130
38. Schäfer K, Hartung E (1999) Mainz-Dortmunder-Dosismodell (MDD) zur Beurteilung der Belastung der Lendenwirbelsäule durch Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung bei Verdacht auf Berufskrankheit Nr. 2108. Teil 3: Vorschlag zur Beurteilung der arbeitstechnischen Voraussetzungen im Berufskrankheiten – Feststellungsverfahren bei kombinierter Belastung mit Ganzkörperschwingungen. Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 34:143–147
39. Schäfer K, Hartung E, Bolm-Audorff U et al (2002) Beurteilung der Belastungen durch Heben und Tragen schwerer Lasten im Berufskrankheiten. Feststellungsverfahren bei der BK-Nr. 2108: Anmerkungen zu den von Becker vorgeschlagenen Modifikationen zum Mainz-Dortmunder Dosismodell. Sozialgerichtsbarkeit 49:202–206
40. Schäfer K, Luttmann A, Jäger M (2002) Kommentierung der Hypothesen von Zander zum Mainz-Dortmunder Dosismodell (MDD). Sozialgerichtsbarkeit 49:549–553
41. Seidler A, Bolm-Audorff U, Heiskel H et al (2001) Der Einsatz des Mainz-Dortmunder Dosismodells in einer Fall-Kontroll-Studie zu den beruflichen Risiken bandscheibenbedingter Erkrankungen. Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 36:10–20
42. Seidler A, Bergmann A, Ditschen D et al (2007) Zusammenhang zwischen lumbalen Prolaps-erkrankungen und der kumulativen Wirbelsäulenbelastung durch Lastenhandhabungen und Tätigkeiten in Rumpfbeugehaltung. Ergebnisse der Deutschen Wirbelsäulenstudie. Zbl Arbeitsmed 57:290–303
43. Seidler A, Bergmann A, Bolm-Audorff U et al (2013) Erweiterte Auswertung der Deutschen Wirbelsäulenstudie mit dem Ziel der Ableitung geeigneter Richtwerte. Abschlussbericht. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Sankt Augustin
44. Seidler A, Bergmann A, Bolm-Audorff U et al (2014) Dosis-Wirkung-Zusammenhang zwischen physischen Belastungen und lumbalen Bandscheibenerkrankungen. Ergebnisse der DWS-Richtwertestudie. Zbl Arbeitsmed 64. DOI 10.1007/s40664-014-0035-3
45. Ulm K (1991) A statistical method for assessing a threshold in epidemiological studies. Stat Med 10:341–349
46. Zander D (2002) BK Nr. 2108, das Mainz-Dortmunder-Dosismodell und die Mathematik oder Des Kaisers neue Kleider. Sozialgerichtsbarkeit 3:152–160