

Zbl Arbeitsmed 2014 · 64:239–257  
 DOI 10.1007/s40664-014-0035-3  
 Online publiziert: 23. Juli 2014  
 © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

A. Seidler<sup>1</sup> · A. Bergmann<sup>2</sup> · U. Bolm-Audorff<sup>3</sup> · D. Ditchen<sup>4</sup> · R. Ellegast<sup>4</sup> · U. Euler<sup>1</sup> · J. Haerting<sup>2</sup> · E. Haufe<sup>1</sup> · C. Jordan<sup>5</sup> · N. Kersten<sup>6</sup> · O. Kuss<sup>7</sup> · A. Luttmann<sup>5</sup> · P. Morfeld<sup>8</sup> · K. Schäfer<sup>9</sup> · M. Jäger<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Institut und Poliklinik für Arbeits- und Sozialmedizin, TU Dresden

<sup>2</sup> Institut für Medizinische Epidemiologie, Biometrie und Informatik, Universität Halle-Wittenberg, Halle

<sup>3</sup> Dezernat Landesgewerbeamt, Regierungspräsidium Darmstadt, Wiesbaden

<sup>4</sup> Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin

<sup>5</sup> Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfADo), Dortmund

<sup>6</sup> Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Berlin

<sup>7</sup> Institut für Biometrie und Epidemiologie, Deutsches Diabetes-Zentrum (DDZ), Leibniz-

Zentrum für Diabetes-Forschung an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

<sup>8</sup> Institut für Epidemiologie und Risikobewertung in der Arbeitswelt (IERA), Evonik Services, Essen

<sup>9</sup> Berufsgenossenschaft Handel und Warendistribution (BGHW), Mannheim

# Dosis-Wirkung-Zusammenhang zwischen physischen Belastungen und lumbalen Bandscheibenerkrankungen

## Ergebnisse der DWS-Richtwertstudie

Aus den Ergebnissen der Deutschen Wirbelsäulenstudie (DWS1; [1, 3, 4, 7, 10, 14, 15, 17, 18]) lässt sich die grundsätzliche Aussage ableiten, dass auch unterhalb der Richtwerte des Mainz-Dortmunder Dosismodells (MDD) Risiken für die Entstehung einer bandscheibenbedingten Erkrankung der Lendenwirbelsäule (LWS) bestehen. Bis dato war allerdings noch ungeklärt, welchen Einfluss die separate Absenkung oder Erhöhung einzelner Richtwerte für die Bandscheibendruckkraft, Rumpfvorneigung oder Tagesdosis und die Einbeziehung weiterer Arten von Lastenhandhabungen – neben Heben oder Tragen schwerer Lasten, z. B. das Ziehen und Schieben von Lasten – auf die Anpassungsgüte der Dosismodelle haben. In den bisherigen Auswertungen der DWS1 wurden die Eigenschaften nicht separat, sondern in Kombination verändert. Mit der separaten Variation der einzelnen Eigenschaften in der DWS-Richtwertstudie (DWS2) sollte die Grundlage für eine differenzierte Ableitung von Richtwerten bei der Berufskrankheit (BK) Nr. 2108 der

Berufskrankheiten-Verordnung (BKV) gelegt werden.

### Methoden

Die DWS2 stellt eine vertiefende Reanalyse der Daten der DWS1 dar. Für die ausführliche Darstellung der Methoden wird auf den Abschlussbericht der DWS2 [24]<sup>1</sup> sowie auf die Beiträge von Jäger et al. [13], Morfeld et al. [16], Ditchen et al. [6] und Bergmann et al. [2] in diesen beiden Themenheften zur DWS2 verwiesen. Im nachfolgenden Abschnitt wird das grundlegende methodische Vorgehen der DWS2 zusammenfassend skizziert.

Die vertiefenden Analysen der DWS2 basieren auf der Datengrundlage der DWS1 [3], einer multizentrischen populationsbezogenen Fall-Kontroll-Studie aus 915 Fällen mit lumbaler Erkrankung der Bandscheiben und 901 Kontrollproban-

den. Die 915 Fallprobanden sind 4 Fallgruppen zugeordnet.

- Fallgruppe 1 mit 286 männlichen Patienten und Fallgruppe 2 278 weiblichen Patienten in stationärer oder ambulanter Behandlung in einer Klinik wegen LWS-Prolaps mit sensiblen und/oder motorischem Wurzelsyndrom,
- Fallgruppe 3 mit 145 männliche Patienten und Fallgruppe 4 mit 206 weibliche Patienten in stationärer oder ambulanter Behandlung in einer Klinik oder ambulanter Behandlung in einer orthopädischen oder neurochirurgischen Praxis wegen einer fortgeschrittenen Chondrose mit Bandscheibenverschmälerung der LWS und Nachweis eines sensiblen und/oder motorischen Wurzelsyndroms oder eines lokalen Lumbalsyndroms (letzteres mit einem Fin-

<sup>1</sup> In wesentlichen Teilen enthält der vorliegende Beitrag Textpassagen aus dem Abschlussbericht der DWS2 [24].

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

Dosismodell		1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rumpfvorneigung		90°			20°	45°	75°	45°			
Druckkraft	m	3,2 kN			alle Werte	2,0 kN					
	w	2,5 kN									
Tagesdosis	m	5,5 kNh			alle Werte						
	w	3,5 kNh									
Handhabungen außer Heben oder Tragen **		nein		ja (Ziehen/Schieben, Fangen/Werfen, Kraftaufwendung)							
Wichtung der Druckkraft $F_i$		quadratisch mit Wurzelbildung $\sqrt{\sum F_i^2}$					$F_i$	$F_i^3$	$F_i^4$	$F_i^2$	
<p>* Druckkraftwerte <math>F_i</math> für Hebe- und Tragevorgänge <math>i</math> aus „MDD-Schätzgleichungen“ ansonsten: spezifische Berechnungen mit Simulationswerkzeug <i>Der Dortmunder</i></p> <p>** einschließlich Halten, Um-/Absetzen, Absenken, Schaufeln, Bewegungen von Patienten</p> <p>m: männlich                      w: weiblich</p>											

**Abb. 1** ▲ Übersicht zu den in der Deutschen Wirbelsäulenstudie (DWS1) verwendeten Dosismodellen zur Berechnung der Schichtdosis, Kriterien bei der quantitativen Beschreibung der kumulativen Wirbelsäulenbelastung je Arbeitsschicht mit Angaben zu Erhebungsschwellen für Rumpfvorneigung, Bandscheibendruckkraft, Tagesdosis und Handhabungsart sowie zur Druckkraftwichtung relativ zur Belastungsdauer. (Nach [10])

ger-Boden-Abstand von mindestens 25 cm).

Die Falldiagnosen wurden durch eine radiologische und klinische Zweitbeurteilung überprüft. Die Fallprobanden wurden in Kliniken oder orthopädischen Praxen im Raum Frankfurt am Main, Freiburg, Halle (Saale) und Regensburg rekrutiert und einbezogen, sofern die Personen in einem bestimmten geographischen Gebiet im Umkreis dieser Städte ihren ersten Wohnsitz hatten. Bei den Kontrollprobanden handelte es sich um eine Zufallsstichprobe der Wohnbevölkerung aus denselben Regionen. Fall- und Kontrollprobanden mussten zum Zeitpunkt der Rekrutierung ein Alter zwischen 25 und 70 Jahren haben. Die Antwortrate bei den Fällen lag bei 66,4% und bei den Kontrollen bei 53,4%; im Rahmen einer Non-Responder-Analyse fanden sich keine Hinweise auf einen differenziellen Fehler in der Antwortrate bei Fällen und Kontrollen in Abhängigkeit vom sozialen Status. Bei allen Fällen und Kontrollen wurde ein etwa anderthalbstündiges standardisiertes persönliches Interview durch geschulte Interviewer(innen) zu beruflichen Wirbelsäulenbelastungen durch Lastenhandhabung, Rumpfbiegung und Ganzkörperschwingungen durchgeführt

(Erstinterview). Ferner wurden Informationen u. a. zu Belastungen durch Hobby und Sport sowie Größe, Gewicht und Vorerkrankungen der Wirbelsäule erhoben. Bei 1200 Probanden, die eine Mindestdosis beruflicher Wirbelsäulenbelastungen (die sog. Auslösungsschwelle) überschritten hatten, wurde später ein etwa 2-stündiges semistandardisiertes umfassendes Experteninterview durch Mitarbeiter der Technischen Aufsichtsdiene der Unfallversicherungsträger durchgeführt (TAD- oder Zweitinterview). Inhalt dieser Befragung war eine detaillierte Beschreibung der beruflichen Exposition bezüglich Lastenhandhabungen, belastungsintensiven Körperhaltungen sowie der Einwirkung von Ganzkörperschwingungen [7]. Die Ergebnisse des TAD-Interviews wurden biomechanisch dahingehend analysiert, dass zunächst für jeden dokumentierten Vorgang mit Lastenhandhabung oder belastungsintensiver Körperhaltung die Druckkraft auf die lumbosakrale Bandscheibe als Maß der situativen Wirbelsäulenbelastung durch biomechanische Modellrechnungen mithilfe des Simulationswerkzeugs „Der Dortmunder“ [12] bestimmt wurde. In der Folge wurde die kumulative Belastung der LWS auf Basis der lumbosakralen Druckkraft und der Vorgangsdauer und -häufigkeit be-

rechnet. Dazu wurden das MDD [8, 11] und 9 weitere Dosismodelle mit teilweise herabgesetzten Schwellenwerten für Rumpfvorneigung und Bandscheibendruckkraft bei Lastenhandhabung, Berücksichtigung von anderen Formen der Lastenhandhabung außer Heben und Tragen – wie Ziehen, Schieben, Fangen und Werfen – und verschiedener Wichtung der Druckkraft gegenüber der Belastungsdauer (linear, quadratisch, kubisch oder tetradisch) genutzt. Als kumulative Belastung ist dabei die Gesamtdosis während des gesamten Arbeitslebens, berechnet aus Beurteilungsdosis pro Schicht, Anzahl der Expositionsschichten pro Jahr und der Anzahl der Expositionsjahre, zu verstehen.

Zur quantitativen Beschreibung der kumulativen Wirbelsäulenbelastung wurden in der DWS1 die in **Abb. 1** dargestellten 10 verschiedenen Dosismodelle verwendet, die sich – ausgehend vom MDD – insbesondere bezüglich der Erhebungsschwellen, der Wichtung von Druckkraft relativ zur Einwirkungsdauer/Auftretenshäufigkeit und der Verwendung einer Wurzelfunktion bei der Ermittlung der Tagesdosis unterscheiden. Bei diesen 10 Modellen waren verschiedene Mindestwerte (sog. Schwellen) dahingehend vorgesehen, ob die Belastung als relevant einzustufen und daher bei der Berechnung der Schichtdosis zu berücksichtigen ist; jeweils einheitlich wurde die über das gesamte Berufsleben kumulierte Dosis (Lebensdosis) durch Multiplikation der Tagesdosis mit der betreffenden Schichtanzahl im Berufsleben berechnet.

In der vertiefenden Reanalyse der DWS1 im Rahmen der DWS2 werden die Schwellenwerte Bandscheibendruckkraft, Rumpfvorneigung und Tagesdosis einzeln und anschließend kombiniert variiert; dabei wird die Anpassungsgüte der resultierenden Dosismodelle zur Beschreibung des Dosis-Wirkung-Zusammenhangs auf der Grundlage der kontinuierlichen Dosiswerte anstelle klassierter Daten in der DWS1 ermittelt. Die vertiefende Reanalyse der Daten der DWS1 ist durch 3 neue Ansätze gekennzeichnet.

— Die separate und kleinschrittige Variation von Eigenschaften (i. d. R. „Schwellen“) des MDD mit Analyse der Auswirkungen auf die Anpas-

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

## Dosis-Wirkung-Zusammenhang zwischen physischen Belastungen und lumbalen Bandscheibenerkrankungen. Ergebnisse der DWS-Richtwertestudie

### Zusammenfassung

**Zielsetzung.** Aus den Ergebnissen der Deutschen Wirbelsäulenstudie (DWS1), die die Basis der hier vorgestellten DWS-Richtwertestudie (DWS2) darstellen, ist die grundsätzliche Aussage ableitbar, dass auch unterhalb bestimmter Schwellenwerte des Mainz-Dortmunder Dosismodells (MDD) Risiken für die Entstehung einer bandscheibenbedingten Erkrankung der Lendenwirbelsäule bestehen. In den verwendeten Dosismodellen der DWS1 wurden die Schwellenwerte der Bandscheibendruckkraft, Rumpfvorneigung und Tagesdosis nicht getrennt voneinander, sondern in Kombination variiert. Daher erlaubten die bisherigen Auswertungen der DWS1 keine Aussagen zu Dosismodellen, die durch definierte Absenkung einzelner Eigenschaften des MDD, z. B. der Druckkraft, bei Beibehaltung der übrigen Eigenschaften gekennzeichnet sind. Ziel der DWS2 ist die wissenschaftlich fundierte Ableitung eines Dosismodells unter Berücksichtigung geeigneter Schwellenwerte.

**Material und Methoden.** In der DWS2 werden die Schwellenwerte (Bandscheibendruckkraft, Rumpfvorneigung, Tagesdosis) einzeln und anschließend auch kombiniert variiert. Dabei wird die Anpassungsgüte der resultierenden Dosismodelle zur Beschreibung des Dosis-Wirkung-Zusammenhangs auf der Grundlage der kontinuierlichen Dosiswerte anstelle klassierter Daten in der DWS1 und unter Einsatz verschiedener statistischer Methoden [z. B. Akaike-Informationskriterium (AIC), Multi-Modell-Ansätze, fraktionale Polynome] ermittelt.

**Ergebnisse.** In die Berechnung der Schwellenwerte gingen die Informationen mehrerer gut anpassender, einen breiten Bereich von Schwellenwerten repräsentierender Dosismodelle ein. Unter Einsatz statistischer Mittelungsverfahren (Multi-Modell-Ansätze) ließen sich daraus folgende Schwellenwerte ableiten: eine Bandscheibendruckkraft von 3,2 kN für Männer und 2,5 kN für Frauen, ein Rumpfvorneigungswinkel von 45°, eine Tagesdosis von

2,0 kNh bei Männern und 0,5 kNh bei Frauen. Weiterhin ließ sich eine Verdopplungsdosis des Bandscheibenerkrankungsrisikos von etwa 7 MNh bei Männern und etwa 3 MNh bei Frauen ermitteln.

**Schlussfolgerungen.** Die vertiefende Reanalyse der Daten der DWS1 liefert eine wichtige Grundlage zur Beurteilung der Dosis-Wirkung-Beziehung zwischen körperlichen Belastungen und bandscheibenbedingten Erkrankungen. Zunächst sind statistische Unsicherheiten bei der Ableitung von Schwellenwerten sowie die Vereinbarkeit der Studienergebnisse mit den Anforderungen des Berufskrankheitenrechts zu diskutieren, bevor konkrete Folgerungen für die Berufskrankheit Nr. 2108 gezogen werden können.

### Schlüsselwörter

Risikobewertung · Berufliche Exposition · Dosis-Wirkung-Beziehung · Statistisches Modell · Deutschland

## Dose-response relationship between physical exposure and lumbar spine disease. Results of the EPILIFT Exposure Criteria Study

### Abstract

**Aims.** The EPILIFT case-control study – which constitutes the basis of the present EPILIFT Exposure Criteria Study (EPILIFT2) – led to the fundamental conclusion that the risk of developing lumbar disc diseases is elevated even when the physical workload lies below specific threshold values of the Mainz-Dortmund Dose Model (MDD). In the “original” EPILIFT study, threshold values for lumbar-disc compressive force, for the degree of forward bending, and for the daily dose were not varied separately but in combination. Therefore, to date, the consequences on the model fit are unknown if single thresholds of the MDD are lowered separately, leaving other thresholds unchanged. The aim of this in-depth data analysis of the original EPILIFT study was to derive a dose model (including appropriate threshold values) that best describes the dose–response relation-

ship between physical exposure and lumbar spine diseases.

**Material and methods.** Lumbar-disc compressive force, degree of forward bending, and daily dose were changed separately (and afterward simultaneously). Model fit was considered based on continuous (instead of categorized) exposure variables, applying several new statistical methods (Akaike information criterion, AIC; fractional polynomials; multimodel approaches).

**Results.** The calculation of threshold values made use of the information of several dose models representing a broad range of threshold values. As a result of this in-depth analysis, the following thresholds were established as a “best estimate”: lumbar-disc compressive force of 3.2 kN among men and 2.5 kN among women; 45 degree of forward inclination of the trunk; daily dose threshold of

2 kNh among men and 0.5 kNh among women; doubling (life time) dose of about 7 MNh among men and 3 MNh among women.

**Conclusions.** This in-depth re-analysis of the EPILIFT case-control study data constitutes an important basis for the determination of the dose–response relationship between physical exposure and lumbar spine diseases. The statistical uncertainties of our study results as well as the statutory requirements of German occupational disease no. 2108 (lumbar spine disease) have to be considered before appropriate threshold values can be established for use in practice.

### Keywords

Risk assessment · Occupational exposure · Dose-response relationship · Statistical model · Germany

- sungsgüte der resultierenden Dosismodelle.
- Die bestmögliche Ausnutzung aller studienimmanenten Informationen durch die Modellierung der Dosis-Wirkung-Beziehung
    - a) auf der Grundlage der kontinuierlichen Daten,
    - b) unter Einsatz von fraktionalem Polynomen 2. und 4. Grades sowie
    - c) unter Einsatz gewichteter Mittelungsverfahren (Multi-Modell-Ansätze).
  - Die Ermittlung der Verdopplungsdosis (die Dosis, bei der der Punktschätzer des fallgruppenspezifischen relativen Erkrankungsrisikos 2 beträgt) mit 95%-Konfidenzintervallen.

### Variation einzelner Eigenschaften des Mainz-Dortmunder Dosismodells

Die schrittweise Variation der Schwellen für Bandscheibendruckkraft, Rumpfvorneigung und Tagesdosis erfolgte getrennt für die 4 Fallgruppen. Die Eigenschaften wurden zunächst ausgehend von einem für alle Fallgruppen gut anpassendem Modell der DWS1, dem sog. Grundmodell (Dosismodell 5), getrennt voneinander variiert. Wenn das Grundmodell eine Druckkraftschwelle von 2,0 kN, eine Rumpfvorneigungsschwelle von 45° und eine Tagesdosischwelle von 0 kNh vorsah, wurde die Druckkraftschwelle schrittweise von 2,0 kN über 2,25 auf 2,5 kN, über 2,75 auf 3,0 kN usw. bis zu einer Druckkraftschwelle von 12,0 kN erhöht. Insgesamt wurden 16 Druckkraftschwellen geprüft. Für jedes resultierende Dosismodell wurde der Wert des Akaike-Informationskriteriums (AIC) als Maß für die Anpassungsgüte berechnet. Analog zur DWS1 wurden 95%-Modell-Konfidenzmengen zum Vergleich der Anpassungsgüte unterschiedlicher Dosismodelle ermittelt. Jeweils alle Dosismodelle einer fallgruppenspezifischen und auf eine Modelleigenschaft („Gruppe“) bezogenen Auswertung, die innerhalb der jeweiligen 95%-Modellkonfidenzmenge liegen, wurden als statistisch gleichwertig angesehen. Zusätzlich wurden auch Dosismodelle mit einer maximalen AIC-Differenz von 2 im Vergleich

zum AIC-Minimum als gleichwertig angesehen. Um einer Aussage zum besten Modell näherzukommen wurde gesondert für die Modelleigenschaften Druckkraftschwelle, Rumpfvorneigungsschwelle und Tagesdosischwelle jeweils ein fallgruppenspezifischer AIC-gewichteter Mittelwert gebildet. Weiterhin wurde die Anpassungsgüte beim Einbeziehen weiterer Tätigkeiten wie Ziehen, Schieben, Werfen und Fangen untersucht. Schließlich wurde die Anpassungsgüte des sogenannten BSG-Modells<sup>2</sup> (s. unten) gegenüber dem Grundmodell geprüft.

Der grundsätzliche Umgang mit Schwellenwerten entspricht in der DWS2 dem Umgang des MDD mit Schwellenwerten. Bei der Berechnung von Dosiswerten werden alle körperlichen Belastungen ab definierten Schwellenwerten mit dem vollen Wert einbezogen, während Belastungsvorgänge mit einem Wert unterhalb einer Schwelle gänzlich unberücksichtigt bleiben. Alternativ gehen 2, im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse (Schwellenwertprüfung) untersuchte Ansätze davon aus, dass nur der Anteil oberhalb der Schwelle (Schwellenwertüberschuss) oder nur der Anteil oberhalb der Grundbelastung, d. h. derjenigen beim aufrechten Stehen ohne Last (Basiswertabzug), in die Dosisberechnung eingehen [13]. Im Ergebnis dieser Schwellenwertprüfung kann der im MDD vorgesehene Umgang mit Schwellen (Einbezug derjenigen „absoluten“ Druckkräfte, die die jeweils untersuchte Schwelle überschreiten; quadratische Wichtung der Druckkraft relativ zur Vorgangsdauer) als methodisch gerechtfertigt angesehen werden.

### Multi-Modell-Ansätze

Um alle in den DWS1-Daten enthaltenen Informationen bestmöglich „auszuschöpfen“, wurden an 2 Stellen der DWS2 Multi-Modell-Ansätze durchgeführt. In die erste Modellmittelung gingen alle, statistisch

nicht voneinander zu unterscheidenden Modelle innerhalb der 95%-Modellkonfidenzmenge, gewichtet nach ihrem AIC-Wert, ein. Wenn ein Modell einen sehr niedrigen AIC-Wert hatte, dann bekam es ein höheres Gewicht, weil es eine vergleichsweise bessere Anpassung zeigte als ein Modell mit einem höheren AIC-Wert. Aus diesen separat gemittelten Schwellenwerten wurden Kombinationsmodelle, bei denen nicht nur eine Eigenschaft jeweils für sich genommen variiert, sondern bei denen mehrere Eigenschaften gleichzeitig variiert wurden (nämlich genau die Eigenschaften, die unseren gemittelten Werten entsprachen), entwickelt. Für die resultierenden Kombinationsmodelle wurden wiederum die AIC-Werte berechnet, um die Anpassungsgüte dieser Modelle zu überprüfen.

Die im Ergebnis der ersten Modellmittelung gebildeten Kombinationsmodelle bildeten die Referenzdosismodelle für die Durchführung der zweiten Modellmittelung. Auf diese Referenzmodelle wurden diejenigen Modelle bezogen, die innerhalb der 95%-Modellkonfidenzmengen lagen. So wurden etwa in der Fallgruppe 1 (Männer mit Prolaps) 29 Einzelmodelle in diese Modellmittelung einbezogen.<sup>3</sup> Somit gingen nicht nur Informationen der definierten Referenzmodelle in die anschließende Ableitung der Verdopplungsdosiswerte ein. In einem zweiten Mittelungsansatz wurden vielmehr (wiederum AIC-gewichtet) die Informationen aller – innerhalb der 95%-Modellkonfidenzmengen liegenden – Dosismodelle auf das jeweilige fallgruppenspezifische Referenzmodell umgerechnet und anschließend in die Ermittlung der fallgruppenspezifischen Verdopplungsdosiswerte einbezogen. Dies gilt für Druckkraftschwelle, Rumpfvorneigungsschwelle und Tagesdosischwelle.

### Ermittlung der Verdopplungsdosis

Zur Ableitung eines Vorschlags zur Bestimmung von Lebensdosis-Richtwerten für die 4 Fallgruppen wurden die Er-

<sup>2</sup> Bei dem „BSG-Modell“ handelt es sich um ein Dosismodell, dessen Eigenschaften sich nach dem Urteil des Bundessozialgerichts (BSG) vom 30.10.2007 richten [5]. Folgende Schwellenwerte sind zugrunde gelegt: Bandscheibendruckkraft 2,7 kN, Rumpfvorneigung 90°, Tagesdosis 0 kNh, Lebensdosis 12,5 MnH. Das Urteil des BSG bezieht sich nur auf Männer.

<sup>3</sup> Für weitere Einzelheiten der zweiten Modellmittelung wird auf den Beitrag von Morfeld et al. [16] im ersten Themenheft zur DWS-Richtwertstudie verwiesen.

Variation	Schwelle	Modell	FG1	FG1	FG2	FG2	FG3	FG3	FG4	FG4
			FP2	FP4	FP2	FP4	FP2	FP4	FP2	FP4
Schwelle Druckkraft	2,0 kN	I_D_101k1	943,7	942,4	947,9	945,9	620,6	621,3	714,6	717,1
Schwelle Druckkraft	2,25 kN	I_D_109k1	944,9	943,1	946,7	944,1	620,5	621,0	717,0	718,0
Schwelle Druckkraft	2,5 kN	I_D_110k1	945,1	943,7	946,3	943,2	619,7	620,8	715,2	717,8
Schwelle Druckkraft	2,75 kN	I_D_111k1	944,6	942,5	947,7	944,9	617,8	619,6	715,8	718,6
Schwelle Druckkraft	3,0 kN	I_D_112k1	946,0	943,5	948,0	944,2	617,9	618,6	719,6	718,6
Schwelle Druckkraft	3,25 kN	I_D_113k1	945,3	942,0	948,7	944,8	617,9	619,0	720,4	721,6
Schwelle Druckkraft	3,5 kN	I_D_203k1	947,0	942,9	952,4	949,2	617,8	621,0	721,9	722,7
Schwelle Druckkraft	4,0 kN	I_D_204k1	941,7	940,4	952,9	952,7	617,0	620,8	722,1	722,3
Schwelle Druckkraft	4,5 kN	I_D_205k1	945,4	947,2	953,3	952,0	618,1	621,2	722,2	722,3
Schwelle Druckkraft	5,0 kN	I_D_206k1	945,5		952,5	951,1	617,3	618,5	721,9	721,0
Schwelle Druckkraft	5,5 kN	I_D_207k1	948,3	946,5	952,4	951,3	616,3	618,0	722,0	721,5
Schwelle Druckkraft	6,0 kN	I_D_208k1	947,9	947,6	953,0	951,6	617,3	618,9	722,1	720,8
Schwelle Druckkraft	7,0 kN	I_D_209k1	949,3	950,1	954,5	953,7	621,9		722,7	722,5
Schwelle Druckkraft	8,0 kN	I_D_210k1	951,5	950,5	953,8	951,9	624,7		721,5	721,2
Schwelle Druckkraft	10,0 kN	I_D_211k1	949,1	949,7	953,6	952,1	626,7	627,5	721,1	720,8
Schwelle Druckkraft	12,0 kN	I_D_212k1	949,3		953,8	952,7	628,0	631,2	720,4	722,2
Schwelle Rumpfbg.	20°	I_D_114k1	942,2	943,0	946,8	945,0	617,7	618,0	716,4	718,5
Schwelle Rumpfbg.	45°	I_D_101k1	943,7	942,4	947,9	945,9	620,6	621,3	714,6	717,1
Schwelle Rumpfbg.	75°	I_D_115k1	948,0	942,3	947,7	944,1	622,4	622,0	717,8	718,1
Schwelle Rumpfbg.	90°	I_D_116k1	947,1	943,4	954,1	951,2	620,1	620,7	715,0	716,1
Schwelle Tagesdosis	0 kNh	I_D_101k1	943,7	942,4	947,9	945,9	620,6	621,3	714,6	717,1
Schwelle Tagesdosis	0,5 kNh	I_D_201k1	943,8	942,4	947,4	945,4	620,5	621,6	715,0	717,7
Schwelle Tagesdosis	1,0 kNh	I_D_202k1	943,7	942,0	949,0	948,0	619,2	618,6	715,7	715,2
Schwelle Tagesdosis	2,0 kNh	I_D_102k1	939,2	937,2	958,4	960,0	617,0	615,5	718,0	718,2
Schwelle Tagesdosis	3,0 kNh	I_D_103k1	944,3	942,5	961,4	963,1	624,1	625,1	723,2	720,8
Schwelle Tagesdosis	4,0 kNh	I_D_104k1	945,1	942,5	965,8	968,4	625,1	627,0	731,3	729,7
Schwelle Tagesdosis	5,0 kNh	I_D_105k1	944,0	942,2	968,6	971,4	623,4	624,8	736,8	737,6
Schwelle Tagesdosis	6,0 kNh	I_D_106k1	955,3	956,2	973,5	975,9	627,5	627,7	738,1	739,1
Schwelle Tagesdosis	8,0 kNh	I_D_107k1	967,1	969,7	970,3	972,0	632,8	635,3	736,7	738,9
Schwelle Tagesdosis	10,0 kNh	I_D_108k1	971,2	971,7	975,1	971,0	633,1	634,6	739,9	741,7
mit Ziehen etc. 45°		I_D_101k1	943,7	942,4	947,9	945,9	620,6	621,3	714,6	717,1
ohne Ziehen etc. 90° "BSG"		I_D_118k1	951,0	946,8	952,2	952,2	620,3	621,2	717,0	718,0

**Abb. 2** ▲ Werte des Akaike-Informationskriteriums der Haupt-(FP2) und Sensitivitätsanalyse (FP4). *Farbig markiert* 95%-Konfidenzmenge, BSG Bundessozialgericht, FPx Verwendung fraktionaler Polynome x. Grades, FG Fallgruppe

Modellgruppe	Fallgruppe 1 (Männer mit Prolaps)			Fallgruppe 2 (Frauen mit Prolaps)			Fallgruppe 3 (Männer mit Chondrose)			Fallgruppe 4 (Frauen mit Chondrose)		
	MW	DM	Schwelle	MW	DM	Schwelle	MW	DM	Schwelle	MW	DM	Schwelle
Druckkraft in N	3169	113	3200	2568	110	2450	4183	204	3950	2342*	110	2450
Rumpfbeugung in°	47,8	101	45	49,8	101	45	37	101	45	62	115	75
Tagesdosis in Nh	1950	102	1950	323	201	450	1584	102	1950	538	201	450

**Abb. 3** ▲ Nach Akaike-Informationskriterium (AIC) gewichtete Mittelwerte (MW) der Druckkraft-, Rumpfbeugungs- und Tagesdosissschwellen und Ableitung der Kombinationsdosismodelle. \*Angabe ist die Hauptanalyse mit Ausschluss der Dosismodelle (DM), die eine Druckkraftschwelle oberhalb von 4 kN vorsehen; bei fehlendem Ausschluss dieser DM (Nebenanalyse) ergibt sich ein MW von 2,7 kN, im DM 111 wird von einer Schwelle von 2,7 kN ausgegangen

gebnisse der Multi-Modell-Analyse weiter ausgewertet. Diese Auswertung stützte sich auf die Ergebnisfunktionen des Mittelungsprozesses (Referenzdosis-odds-ratio(OR)-Kurven). Als epidemiologisches Maß für den Lebensdosis-Richtwert wurde die Risikoverdopplung gewählt. Da es sich bei den untersuchten Krankheitsbildern auf der Grundlage detaillierter Recherchen um seltene Erkrankungen handelt (Prävalenz unter 2%; vgl. [24], Bergmann et al. [2]), ist die OR als guter Schätzwert des relativen Erkrankungsrisikos anzusehen. Der Schätzwert für die Verdopplungsdosis ergab sich als Schnittpunkt der Dosis-Wirkung-Kurve mit der Parallelen zur x-Achse bei einer OR von 2.

Mit folgendem Verfahren wurden Konfidenzintervalle für die Verdopplungsdosis abgeschätzt: Gesucht wurde diejenige Dosis (1. Punkt), bei der sich die obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls gerade bei 2 befindet; gesucht wurde ferner diejenige Dosis (2. Punkt), bei der sich die untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls gerade bei 2 befindet. Diese beiden Punkte auf der x-Achse werden dann als Schätzwerte des Konfidenzintervalls der Verdopplungsdosis aufgefasst.

## Ergebnisse

### Variation einzelner Schwellenwerte

#### Variation der Druckkraftschwelle

Bei einer schrittweisen Erhöhung der Druckkraftschwelle im Rahmen der vorliegenden Reanalyse ließ sich für jede der

Fallgruppen 1–3 eine Druckkraftschwelle identifizieren, bei deren Überschreitung (bei ansonsten unverändert vorliegenden Eigenschaften des Grundmodells) keine Dosismodelle mehr neu in die 95%-Modellkonfidenzmenge aufgenommen werden (■ **Abb. 2**). Für die Fallgruppe 1 (Männer mit Prolaps) liegt diese höchste Druckkraftschwelle bei 5,0 kN; d. h. oberhalb einer Druckkraftschwelle von 5,0 kN finden sich bei Männern mit Prolaps keine vom Grundmodell abgeleiteten Dosismodelle, die zu den am besten anpassenden Dosismodellen zählen. Für die Fallgruppe 2 (Frauen mit Prolaps) liegt diese höchste Druckkraftschwelle bei 3,75 kN, bei der Fallgruppe 3 (Männer mit Chondrose) bei 6,0 kN. Bei der Fallgruppe 4 (Frauen mit Chondrose) ließ sich eine derartige Druckkraftschwelle nicht identifizieren, da sich bis einschließlich der höchsten untersuchten Druckkraftschwelle von 12,0 kN eine Zugehörigkeit zu den am besten anpassenden Dosismodellen zeigte.

#### Variation der Rumpfvorneigungsschwelle

Bei einer systematischen schrittweisen Erhöhung der Rumpfvorneigungsschwelle im Rahmen der vorliegenden Reanalyse ließ sich für keine der Fallgruppen 1, 3 und 4 eine Rumpfvorneigungsschwelle identifizieren, bei deren Überschreitung (bei ansonsten unverändert vorliegenden Eigenschaften des Grundmodells) sich keine der 95%-Modellkonfidenzmenge zugehörigen Dosismodelle mehr

fanden. Einzig für die Fallgruppe 2 zeigte sich bei Zugrundelegung einer Rumpfvorneigungsschwelle von 90° eine signifikant verschlechterte Anpassungsgüte. Ansonsten waren für alle Fallgruppen die aus dem Grundmodell abgeleiteten Dosismodelle mit allen Variationen der Rumpfvorneigungsschwelle in der 95%-Modellkonfidenzmenge enthalten.

#### Variation der Tagesdosissschwelle

Bei einer schrittweisen Erhöhung der Tagesdosissschwelle von 0 kNh über 0,5 kNh, 1,0 kNh, 2,0 kNh, 3,0 kNh usw. bis auf 10,0 kNh – insgesamt wurden 10 verschiedene Schwellen geprüft – ließ sich für jede der untersuchten Fallgruppen (1–4) eine Tagesdosissschwelle identifizieren, bei deren Überschreitung sich (bei ansonsten unverändert vorliegenden Eigenschaften des Grundmodells) in der 95%-Modellkonfidenzmenge keine Dosismodelle mehr befanden. Für die Fallgruppe 1 (Männer mit Prolaps) liegt diese Tagesdosissschwelle bei 5,0 kNh (■ **Abb. 2**); d. h. bei Festsetzung einer Tagesdosissschwelle von über 5,0 kNh finden sich bei Männern mit Prolaps keine vom Grundmodell abgeleiteten Dosismodelle, die zu den am besten anpassenden Dosismodellen zählen. Bei der Fallgruppe 2 (Frauen mit Prolaps) liegt diese Tagesdosissschwelle bei 1,0 kNh, bei der Fallgruppe 3 (Männer mit Chondrose) bei 2,0 kNh und bei der Fallgruppe 4 (Frauen mit Chondrose) ebenfalls bei 2,0 kNh.

## Einbezug weiterer Tätigkeiten (wie Ziehen, Schieben, Werfen, Fangen)

Der Einbezug bzw. fehlende Einbezug weiterer Tätigkeiten wie Ziehen, Schieben, Werfen oder Fangen hatte für die 4 Fallgruppen keinen erkennbaren einheitlichen Einfluss auf die Modellgüte. Das Grundmodell mit Berücksichtigung weiterer Tätigkeiten lag in allen 4 Fallgruppen mit dem Grundmodell ohne Berücksichtigung weiterer Tätigkeiten in einer gemeinsamen 95%-Modellkonfidenzmenge.

## Kombinierte Referenzmodelle

Die einzelnen Eigenschaften der aus der ersten Modellmittelung resultierenden Modellgruppen (mit Einbezug aller Modelle innerhalb der 95%-Modellkonfidenzmenge) sind in **Abb. 3** dargestellt. Die jeweils linke Spalte je Fallgruppe gibt die AIC-gewichteten Mittelwerte der Dosismodelle an, die jeweils rechte Spalte je Fallgruppe diejenige Schwelle (aus der Gruppe der untersuchten Schwellen), die diesen Mittelwerten am nächsten kam. Die gemittelte Druckkraftschwelle liegt bei Männern mit Prolapserkrankung am nächsten bei 3,2 kN und bei Männern mit Chondrose bei 4,0 kN. Bei Frauen ergibt sich eine Druckkraftschwelle bei 2,5 kN.<sup>4</sup> Für die Rumpfvorneigung liegen die AIC-gewichteten gemittelten Schwellen in der Nähe von 45°. Allein für die Fallgruppe 4 (Frauen mit Chondrose) findet sich eine gemittelte Rumpfbeugungsschwelle von 62°, also eine Schwelle eher in der Nähe von 75° als von 45°. Für die Tagesdosis-schwellen ergibt sich aus der Modellmittelung einheitlich für Männer eine Schwelle von 2,0 kNh und für Frauen von 0,5 kNh.

Aus der gleichzeitigen Variation mehrerer (den gemittelten Werten entsprechenden) Eigenschaften ergaben sich nachfolgende Kombinationsmodelle. Bei Männern lag die Schwelle der Druckkraft bei beiden Fallgruppen (1 und 3) bei 3,2 kN, die Schwelle der Rumpfvorneigung bei 45° und die Tagesdosis-schwelle bei

2,0 kNh. Bei Frauen ergab sich einheitlich eine Schwelle der Druckkraft von 2,5 kN, der Rumpfvorneigung von 45° und der Tagesdosis von 0,5 kNh. Da in Fallgruppe 4 eine Tendenz hin zu einer Rumpfvorneigungsschwelle von 75° zu sehen war, wurde noch einmal für alle Fallgruppen auch mit einer Rumpfvorneigungsschwelle von 75° gerechnet. Im Ergebnis fand sich damit aber keine bessere, sondern teilweise sogar eine tendenziell schlechtere Anpassung. Damit stellen die angegebenen Kombinationsmodelle die „best estimates“ nach Durchführung der ersten Modellmittelung dar.

## Dosis-Wirkung-Beziehung und Ableitung der Verdopplungsdosis

Die Dosis-Wirkung-Kurven für alle Fallgruppen werden in **Abb. 4** (links Fallgruppe 1 Männer mit Prolaps, rechts Fallgruppe 3 Männer mit Chondrose) und **Abb. 5** (links Fallgruppe 2 Frauen mit Prolaps, rechts Fallgruppe 4 Frauen mit Chondrose) dargestellt. Beispielhaft wird im Folgenden der Verlauf der Dosis-Wirkung-Kurve für Fallgruppe 1 beschrieben (**Abb. 4** links). Die Dosis-Wirkung-Kurve ist hier schwarz dargestellt, die obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls ist blau dargestellt, die untere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls grau. Die Gesamtdarstellung des Dosis-Wirkungsverlaufs (**Abb. 4** oben links) ist zunächst nur eingeschränkt aussagekräftig, weil sich Expositionswerte auf der x-Achse bis hin zu Werten von etwa 200 MNh finden; so hohe Expositionen fanden sich aber (wenn überhaupt) nur äußerst vereinzelt bei Probanden in unserer Studie. In einer Ausschnittvergrößerung (**Abb. 4** Mitte links) geht die x-Achse nur noch bis 100 MNh. Aus diesem Ausschnitt wird wiederum das abgebildete grüne Kästchen als weiterer Ausschnitt dargestellt, so dass nur der Bereich zwischen 0 und 10 MNh zu sehen ist (**Abb. 4** unten links). Dieser Ausschnitt ermöglicht es, den Schnittpunkt der Dosis-Wirkung-Kurve mit der Parallelen zur x-Achse bei einer OR von 2 festzustellen (oranger Kreis); dieser Schnittpunkt stellt den Schätzwert für die Verdopplungsdosis dar und liegt für Männer mit Prolaps (Fallgruppe 1) eben-

so wie für Männer mit Chondrose (Fallgruppe 3) bei etwa 7 MNh. Bei Frauen mit Prolaps wie mit Chondrose (Fallgruppen 2 und 4, **Abb. 5**) ergibt sich mit diesem Verfahren eine Verdopplungsdosis von etwa 3 MNh.<sup>5</sup>

Es ergibt sich mit diesem Verfahren ein Konfidenzintervall für die Fallgruppe 1 (**Abb. 6**) von 1 bis 23 MNh, also ein sehr weites Konfidenzintervall. Bei den weiteren Fallgruppen 2–4 ist die oben genannte Voraussetzung (jeweils einen Effektschätzer zu finden, bei dem die obere Grenze unterhalb von OR=2 endet, und einen weiteren, bei dem die untere Grenze oberhalb von OR=2 endet) nicht zu erfüllen. Es würden also dementsprechend 95%-Konfidenzintervalle von kleiner 0,5 bis größer 100 MNh mit dieser Methode abgeschätzt.

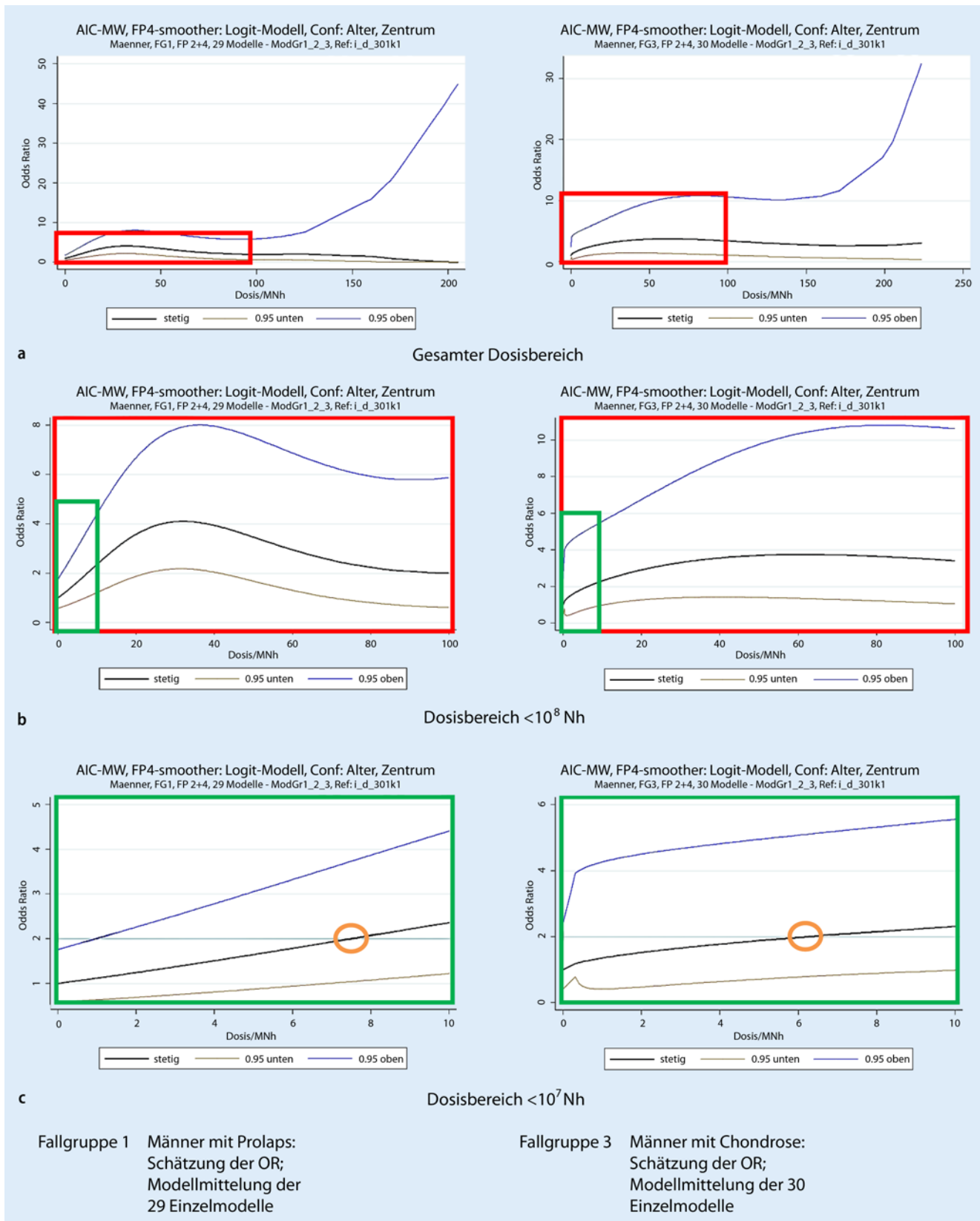
## Diskussion

Die vertiefende Reanalyse der DWSI hatte das Ziel, mit innovativen Methoden das „beste“ Dosismodell zu finden. Es ergibt sich eine bestmögliche Abschätzung der Verdopplungsdosis („best estimate“), die durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet ist:

- eine Druckkraftschwelle bei Männern von einheitlich 3,2 kN und bei Frauen von einheitlich 2,5 kN, entsprechend den Druckkraftschwellen des MDD;
- eine Rumpfvorneigungsschwelle einheitlich bei 45° (und damit deutlich niedriger als beim MDD);
- Einbezug von Tätigkeiten wie Ziehen/Schieben/Werfen und Fangen, auch wenn unsere Methode aufgrund der diesbezüglich geringen Studienpower keine klare Entscheidung treffen konnte;
- Tagesdosis-schwellen von einheitlich 2,0 kNh bei Männern und von einheitlich 0,5 kNh bei Frauen (und damit deutlich niedrigere Tagesdosis-schwellen als beim MDD);

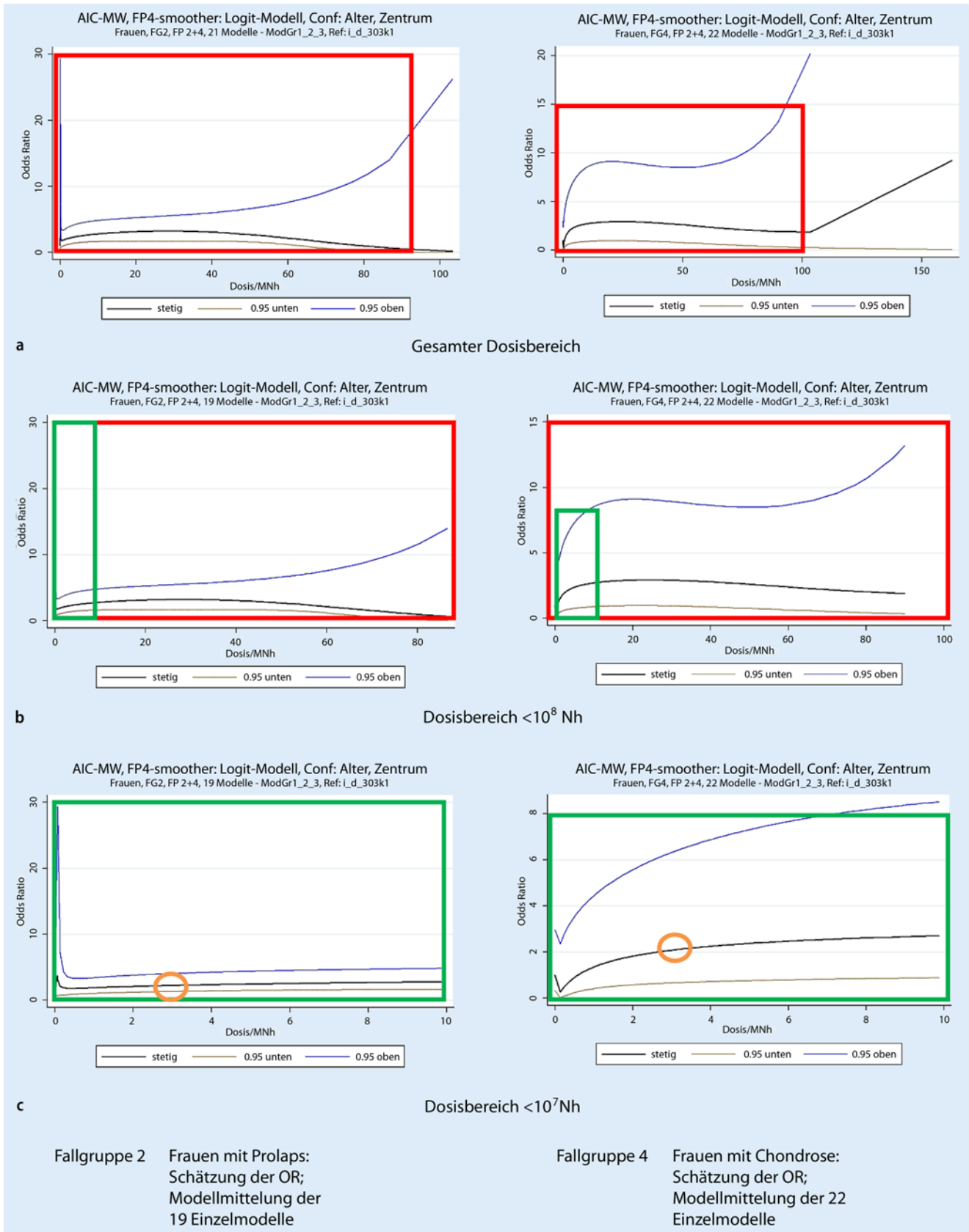
<sup>4</sup> Bei fehlendem Ausschluss der Modelle mit Druckkraftschwelle oberhalb von 4 kN bei Frauen (Nebenanalyse) ergibt sich eine Schwelle von 2,75 kN bei Frauen mit Chondrose (Fallgruppe 4); s. Fußnote 6.

<sup>5</sup> Die in **Abb. 4 und 5** dargestellten Dosis-Wirkung-Verläufe ergeben sich bei Anwendung des Simulationswerkzeugs „Der Dortmund“. Vergleichbare Ergebnisse (hier nicht dargestellt, s. [24]) ergeben sich auf der Grundlage der im Projektteil II der DWS2 entwickelten Bestimmungsgleichungen [6, 24].

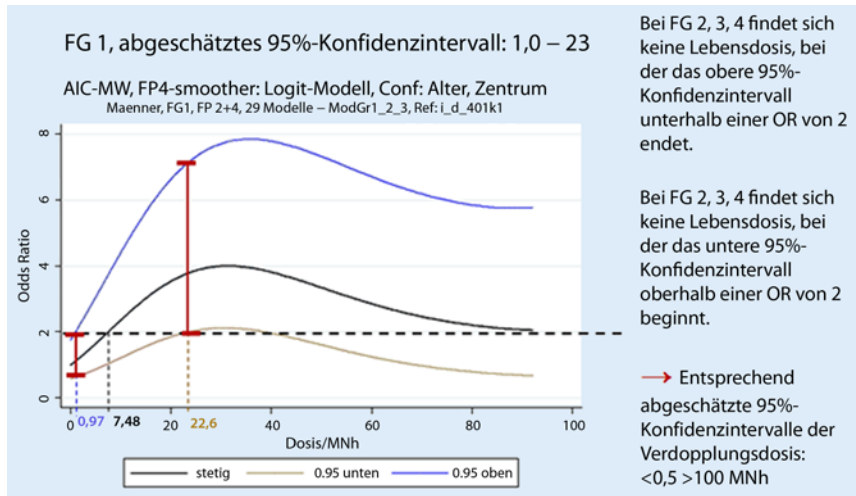


**Abb. 4** ▲ Ableitung der Verdopplungsdosis aus dem Dosis-Wirkungs-verlauf bei Männern (*links* Fallgruppe 1, *rechts* Fallgruppe 3). Von oben nach unten werden Ausschnittvergrößerungen des *roten* Rechtecks und anschließend des *grünen* Rechtecks gezeigt. Der x-Wert beim Schnittpunkt (*orange* umkreist) der Parallelen zur y-Achse bei OR=2 (jeweils bei etwa 7 MNh) mit der Dosis-Wirkungs-Kurve stellt den Punktschätzer der Verdopplungsdosis dar





**Abb. 5** ▲ Ableitung der Verdopplungsdosis aus dem Dosis-Wirkung-Verlauf bei Frauen (*links* Fallgruppe 2, *rechts* Fallgruppe 4). Von oben nach unten werden Ausschnittvergrößerungen des roten Rechtecks und anschließend des grünen Rechtecks gezeigt. Der x-Wert beim (orange umkreisten) Schnittpunkt der Parallelen zur y-Achse bei OR = 2 (jeweils bei etwa 7 MNh) mit der Dosis-Wirkung-Kurve stellt den Punktschätzer der Verdopplungsdosis dar



**Abb. 6** Ergebnisse der zweiten Modellmittelung: Abschätzung von Konfidenzintervallen für die Verdopplungsdosis am Beispiel der Fallgruppe 1 (Männer mit Prolaps). OR, „odds ratio“, FG Fallgruppe

— eine Verdopplungsdosis für die Lebensdosis von einheitlich 7 MNh bei Männern und einheitlich 3 MNh bei Frauen (und damit deutlich niedrigere Lebensdosiswerte als die MDD-Richtwerte für die Lebensdosis).

Im Folgenden sollen zunächst die Ergebnisse bei der schrittweisen Erhöhung einzelner Schwellen diskutiert werden; anschließend erfolgt eine kurze Diskussion des Multi-Modell-Verfahrens (für eine ausführliche Bewertung dieses Verfahrens wird auf Morfeld et al. [16] im ersten Themenheft verwiesen) und der Ableitung der Verdopplungsdosis. Es wird auf mögliche systematische Fehlerquellen eingegangen sowie eine Einordnung der vorliegenden Studienergebnisse in die internationale Literatur vorgenommen. Abschließend wird die Bedeutung der Ergebnisse für das BK-Recht thematisiert.

### Schrittweise Variation einzelner Schwellenwerte

#### Variation der Druckkraftschwelle

Hinsichtlich der Unterscheidbarkeit zwischen *gut anpassenden* und *schlecht anpassenden* Dosismodellen bzw. des Unterscheidungsvermögens bei einer schrittweisen Erhöhung der Druckkraftschwelle sind insbesondere 2 Aspekte zu diskutieren.

1. Die Trennschärfe einer schrittweisen Erhöhung der Druckkraftschwelle

(zwischen gut anpassenden und schlecht anpassenden Dosismodellen) ist für Fallgruppen 1–3 als vergleichsweise gut anzusehen, denn es findet sich jeweils eine deutliche Verschlechterung der Modellgüte oberhalb der beschriebenen höchsten Druckkraftschwelle.

2. Für alle Fallgruppen gilt: Die Differenzierungskraft einer schrittweisen Erhöhung der Druckkraftschwelle (zwischen gut anpassenden und schlecht anpassenden Dosismodellen) ist gering, denn es findet sich grundsätzlich ein weiter Bereich von Druckkraftschwelle, die in ihrem Einfluss auf die Modellgüte statistisch nicht zu unterscheiden sind. Beispielsweise lässt sich in der Fallgruppe 1 (Männer mit Prolaps) bei einer Druckkraftschwelle von 2,0 kN eine Anpassungsgüte feststellen, die von der Anpassungsgüte bei einer Druckkraftschwelle von 5,0 kN statistisch nicht zu unterscheiden ist.

Bezüglich der Ergebnisse bei der Variation der Druckkraftschwelle ist darauf hinzuweisen, dass die schrittweise Erhöhung der Druckkraftschwelle zu einer schrittweisen Reduzierung derjenigen Lastenhandhabungen führt, die in die Ermittlung der kumulativen Lebensdosis einbezogen werden. Allerdings fließen in alle Dosismodelle – auch in die Dosismodelle mit hoher Druckkraftschwelle – jeweils alle Druckkräfte durch

Körperhaltungen (ohne Lastenhandhabung) mit einer Rumpfvorneigung von 45° oder mehr ein. Wenn also den Rumpfvorneigungen eine vergleichsweise hohe Bedeutung für das Bandscheibenerkrankungsrisiko zukommen sollte, könnte dies die geringe Differenzierungskraft der (lastenhandhabungsbezogenen) Druckkraftschwelle zumindest teilweise erklären. Bei der für die 4 Fallgruppen gesonderten Bildung der AIC-gewichteten Mittelwerte der Druckkraftschwelle ergaben sich jeweils eng beieinander liegende Mittelwerte für Männer (Fallgruppen 1 und 3) bzw. für Frauen (Fallgruppen 2 und 4). Zur Vereinfachung des weiteren Vorgehens (und unter Ausschluss eines wesentlichen Verlusts an die Modell-Anpassungsgüte) ergab sich für Männer eine Druckkraftschwelle von 3,2 kN, für Frauen von 2,5 kN. Diese Druckkraftschwelle entsprechen denjenigen des MDD und sind als Bestätigung der Druckkraftschwelle des MDD anzusehen. Die Ergebnisse der DWS2 weisen somit insgesamt darauf hin, dass sich auf der Grundlage dieser Druckkraftschwelle eine gute Abbildung der Bandscheibenerkrankungsrisiken erzielen lässt. Einschränkend ist auf die oben dargestellten Unsicherheiten bezüglich des Unterscheidungsvermögens (Trennschärfe/Differenzierungskraft) der Ergebnisse bei Variation der Druckkraftschwelle aufmerksam zu machen. Die genannten Druckkraftschwelle gingen zusammen mit den abgeleiteten Schätzwerten für die Rumpfvorneigungsschwelle und für die Tagesdosissschwelle in die Definition der Referenzmodelle ein, die die Grundlage für die Bestimmung der Verdopplungsdosiswerte bildeten.

#### Variation der Rumpfvorneigungsschwelle

Die Interpretation der Ergebnisse bei der Variation der Rumpfvorneigungsschwelle hat zu berücksichtigen, dass die Bandscheibendruckkräfte für das Rumpfbeugen um 45, 75 und 90° hinsichtlich ihrer Höhe kaum zu differenzieren sind. So ergeben sich für das Rumpfbeugen um 45 und 90° identische Druckkraftwerte von 1,7 kN, während für die Rumpfbeuge um 75° ein lediglich leicht erhöhter Druckkraftwert von 1,9 kN hinterlegt ist. Es könnte daher kritisch hinterfragt wer-

den, ob eine Dosisberechnung, die ausschließlich auf Druckkraftwerten basiert, eine Differenzierung unterschiedlicher Rumpfbeugehaltungen zulässt. Letztlich geht aber der auf Rumpfbeugungen zurückzuführende Dosisanteil in die Dosisakkumulation ein. Eine Herabsetzung der Rumpfvorneigeschwelle bewirkt in erster Linie eine Erhöhung der Dauer von Rumpfvorneigungen, die in der Berechnung der Tagesdosis Berücksichtigung findet.

Bei der für die 4 Fallgruppen gesonderten Bildung der AIC-gewichteten Mittelwerte der Rumpfvorneigungsschwellen ergaben sich für die Fallgruppen 1–3 Mittelwerte um 45° (37 bis 50°), für die Fallgruppe 4 dagegen mit 62° ein Mittelwert näher bei einer Rumpfvorneigungsschwelle von 75°. Da sich für die Fallgruppe 4, ausgehend vom Grundmodell, bei einer Rumpfvorneigungsschwelle von 45° nominal niedrigere AIC-Werte als bei einer Rumpfvorneigungsschwelle von 75° zeigten, wurde auch für die Fallgruppe 4 eine besonders gute Anpassung bei einer Rumpfvorneigungsschwelle von 45° gesehen. Demnach kann eine Rumpfvorneigungsschwelle von 45° für alle Fallgruppen als geeigneter Schätzwert der Rumpfvorneigungsschwelle angesehen werden. Dieser Wert ging zusammen mit den abgeleiteten Schätzwerten für die Druckkraftschwellen und die Tagesdosissschwellen in die Definition der Referenzmodelle ein, die die Grundlage für die Bestimmung der Verdopplungsdosiswerte bildeten.

### Variation der Tagesdosissschwelle

Die Trennschärfe einer schrittweisen Erhöhung der Tagesdosissschwelle (zwischen gut anpassenden und schlecht anpassenden Dosismodellen) ist als vergleichsweise gut anzusehen, da sich jeweils eine deutliche Verschlechterung der Modellgüte oberhalb der genannten Tagesdosissschwellen feststellen lässt.

### Einbezug weiterer Tätigkeiten wie Ziehen, Schieben, Werfen, Fangen

Der fehlende Einfluss des Einbezugs weiterer Tätigkeiten wie Ziehen, Schieben, Werfen oder Fangen – zusätzlich zum Heben und Tragen – auf die Anpassungsgüte lässt nicht den Schluss zu, dass diesen

weiteren Tätigkeiten kein Risiko für bandscheibenbedingte Erkrankungen der LWS zukäme. Beispielsweise wurde das manuelle Bewegen von Personen im Bereich der Kranken- und Altenpflege nicht den genannten Belastungsarten wie Ziehen oder Schieben zugeordnet, da für diese Vorgänge auf spezifische Werte aus früheren Untersuchungen zurückgegriffen werden konnte. Vielmehr lässt sich aus den Ergebnissen der Häufigkeitsanalyse der Einzelbelastungen schlussfolgern, dass die vorliegende Fallkontrollstudie keine hinreichende Aussagekraft besitzt, um eine differenzierte Risikoaussage zu diesen, in der Gesamtbevölkerung vergleichsweise seltenen Belastungen zu treffen. Hier wären insbesondere Kohortenstudien geeignet, die sich speziell auf Berufsgruppen beziehen, die die genannten weiteren Tätigkeiten ausführen.

### Multi-Modell-Verfahren

Der Einsatz gewichteter Mittelungsverfahren (Multi-Modell-Ansatz) in der vorliegenden Studie ist als innovatives Verfahren anzusehen, das bei der Übersetzung der Daten einer Primärstudie in einen Richtwert den Informationsverlust möglichst gering halten soll. Es handelt sich hierbei um ein statistisches Verfahren; inhaltliche Aspekte gehen in dieses Verfahren zunächst einmal nicht ein.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Es ist darauf hinzuweisen, dass innerhalb des Forschungsverbands unter Beteiligung des Forschungsbegleitkreises intensiv über die Frage diskutiert wurde, welche inhaltlichen Voraussetzungen als biologisch plausible Kriterien zu einer Eingrenzung der Modellvielfalt eingesetzt werden könnten oder sollten. Derartige Überlegungen sind wichtig, weil die Ergebnisse des Verfahrens davon abhängen, welche Modelle in die Mittelung einbezogen werden. Die Diskussionen haben keinen Konsens erzielen können, sodass zur Eingrenzung der Bestmodelle lediglich ein Ausschluss von Modellen mit (sehr) hohen Druckkraftschwellen zur Berücksichtigung des Kriteriums der Häufigkeitsrelevanz durchgeführt wurde. Neben dieser Hauptanalyse wurde eine Nebenanalyse mit Verzicht auf diesen Ausschluss von Modellen durchgeführt. Da sich die Ergebnisse der Hauptanalyse nicht wesentlich und ohnehin nur in der Fallgruppe 4 (Frauen mit Chondrose) von den Ergebnissen der Nebenanalyse unterscheiden, wird auf diese Unterscheidung hier nicht weiter eingegangen.

Die Entscheidung für die kontinuierliche Modellierung der kumulativen Dosis beruhte neben den informationstechnisch-statistischen Argumenten<sup>7</sup> auf dem Praktikabilitätsargument, dass sich damit mit einer Rechenprozedur zugleich auch eine Verdopplungsdosis und über die Umkehrfunktion der bekannten punktwisen Konfidenzbänder für das OR an jeder Stelle der kumulativen Dosis auch ein „Pseudo“-Konfidenzintervall<sup>8</sup> ([24], S. 183) für die Verdopplungsdosis ermitteln lässt.

### Dosis-Wirkung-Beziehung und Verdopplungsdosis

Die vorliegende Reanalyse der Daten der DWS1 schätzt diejenige kumulative Exposition ab, die (auf der Grundlage der beschriebenen Referenzmodelle) zu einer Verdopplung des Bandscheibenerkrankungsrisikos führt. Aufgrund der geringen Prävalenz der Zielerkrankungen in der Allgemeinbevölkerung sind die OR der DWS1 bei Vernachlässigung von Effekten der zeitlichen Krankheitsvorverlagerung [23] als gute Schätzwerte des relativen Erkrankungsrisikos zu werten. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Lebensdosiswerte „best estimates“ darstellen, die einer hohen Unsicherheit aufgrund des Zufallsfehlers unterliegen, ausgedrückt durch ein weites 95%-Konfidenzintervall. Die dargestellten 95%-Konfidenzintervalle für die

<sup>7</sup> Die Entscheidung für die kontinuierliche Modellierung der kumulativen Dosis beruhte u. a. darauf, dass der Umgang mit kontinuierlichen Variablen überwiegend niedrigere AIC-Werte und damit bessere Anpassungen lieferte, als dies für kategorisierte Variablen der Fall war (s. [24], S. 57).

<sup>8</sup> Der Begriff Konfidenzintervall ist hier als „terminus technicus“ zu verstehen, der das Rechenverfahren zur Ermittlung aus dem punktwisen Konfidenzintervall für den Kurvenwert OR = 2 beschreibt. Die Berechnungsmethode der Nutzung der Umkehrfunktion zur Ermittlung der unteren und oberen Grenzen eines Intervalls für den Schwankungsbereich des Verdopplungsdosiswerts lässt keine Aussagen zu statistischen Eigenschaften dieses Intervalls zu, insbesondere auch nicht zu einer 95%-Überdeckungswahrscheinlichkeit. Deswegen wird hier der Begriff Pseudo-Konfidenzintervall genutzt. Die DWS1-Forschungsgruppe hat keine alternative Möglichkeit zur Berechnung der Konfidenzintervalle und damit der Unsicherheiten bei der Ermittlung der Verdopplungsdosis gesehen.

Schwellenwerte sind als Näherungen zur Darstellung der dem gesamten Datensatz und den angewandten komplexen Methoden innewohnenden Zufallsunsicherheit zu betrachten.

Die Ergebnisse der Berechnungen zur Verdopplungsdosis bauen auf epidemiologischer Sicht darauf auf, dass der gewählte Modellfindungsprozess in die statistische Nähe des unbekanntes „wahren“ kumulativen Dosis-Wirkungs-Modells kommt. Bekanntermaßen hängen Schätzungen (insbesondere von Dosis-Wirkungs-Beziehungen) erheblich von der Datenqualität und deren innewohnenden Fehlerquellen ab, die sich mit den Begriffen Selektionsbias (darunter auch Healthy-worker-Effekt), Informationsbias, „confounding“ beschreiben lassen. Auf entsprechende Fehlerquellen wird nachfolgend eingegangen.

### Mögliche systematische Fehlerquellen

Systematische Fehler werden naturgemäß durch Konfidenzintervalle nicht erfasst. Sollten über den vorgenannten Zufallsfehler hinaus auch Fehlerquellen identifizierbar sein, die zu einer systematischen Über- oder Unterschätzung von Bandscheibenerkrankungsrisiken in der DWSI geführt haben, so wären die vorgenannten „best estimates“ entsprechend nach oben oder unten zu korrigieren. Im Folgenden sollen daher mögliche Verzerrungseinflüsse auf die Ergebnisse untersucht werden. Dabei soll insbesondere auch die Richtung der Verzerrung durch mögliche systematische Fehler diskutiert werden.

### Selektionseinflüsse (Selektionsbias)

Grundsätzlich erscheint bei einer Teilnehmerate von 66% der Fälle und 53% der Kontrollpersonen eine Selektionsverzerrung möglich. Allerdings konnte eine Non-responder-Analyse keinen Hinweis auf eine systematische Verzerrung der Ergebnisse erbringen [3, 4, 18, 19]. Die von uns im Rahmen der kategorisierten Auswertung der DWSI beschriebene Risikoabschwächung bei hohen körperlichen Belastungen [3, 4, 18, 19] wurde von uns als Hinweis auf einen Healthy-worker-Effekt interpretiert. Möglicherweise wechseln Personen mit Rückenbeschwerden

häufiger in eine körperlich weniger belastende Tätigkeit als Personen ohne Rückenbeschwerden; ein entsprechender Effekt konnte von Hartvigsen et al. [9] beschrieben werden. Sofern Personen mit Rückenbeschwerden später häufiger eine Bandscheibenschädigung entwickeln, könnten diese Berufswechsel die Risikoabnahme bei hohen körperlichen Belastungen zumindest teilweise erklären. Die beschriebene Risikoabnahme drückt sich in der kategorisierten Auswertung der DWSI in den relativ geringen OR in den Hochdosis-kategorien aus. In der vorliegenden Auswertung auf der Grundlage der kontinuierlichen Variablen ist diese Risikoabnahme als deutlicher Effektabfall (Rechtskurve zu niedrigeren OR-Werten hin) nach vormalig deutlichem Anstieg der Dosis-Wirkungs-Funktion sichtbar. Alternativ könnte sich der starke Risikoanstieg bei relativ niedrigen Belastungen und die niedrigeren Risiken bei sehr hohen Lebensdosen auch zumindest teilweise damit erklären, dass heterogene Teilpopulationen (z. B. stärker susceptible und weniger susceptible Gruppen) in der Fallklientel enthalten sein könnten.

### Verzerrung der Expositionsabschätzung (Informationsbias)

Das sehr aufwendige Verfahren der Belastungsermittlung in der DWSI ist als grundlegender methodischer Vorteil dieser Studie anzusehen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass eine individuelle Druckkraftabschätzung lediglich für diejenigen Probanden erfolgte (78% der männlichen, 65% der weiblichen Fälle sowie 63% der männlichen und 48% der weiblichen Kontrollpersonen), die eine a priori definierte Auslöseschwelle überschritten hatten [3, 7].

Für die nicht belasteten Probanden (Männer wie Frauen) wurde gemäß den jeweiligen Referenzdosismodellen eine Jahresbelastung von 0 MNh zugrunde gelegt; denn der Median der individuellen Belastung bei der Zufallsstichprobe von 17 nicht belasteten Kontrollgruppen (auf der Grundlage des Erstinterviews) beträgt für Männer wie für Frauen 0 MNh.

Für die gering belasteten Probanden (14% der männlichen, 11% der weiblichen Fälle sowie 10% der männlichen und 11% der weiblichen Kontrollpersonen) wur-

de die Gesamtdosis als Produkt aus der durchschnittlichen geschlechtsspezifischen Jahresdosis einer Zufallsstichprobe gering belasteter Kontrollpersonen und der Zahl der Arbeitsjahre gebildet. Diese Zufallsstichprobe, die einer individuellen Belastungsermittlung durch Technische Aufsichtsdiene unterzogen wurde, betrug 10% der gering belasteten Kontrollpersonen (n=27, auf der Grundlage des Erstinterviews).

Unter Berücksichtigung einer Zahl von etwa 30 gering belasteten Männern bzw. Frauen „in der Nähe“ der Verdopplungsdosis lässt sich nicht ausschließen, dass diese Gruppe der Probanden ohne individuelle Belastungsermittlung einen Einfluss auf die Ableitung der Verdopplungsdosis hatte. Es lässt sich nicht angeben, ob dieser mögliche Verzerrungsmechanismus eher zu einer Über- oder einer Unterschätzung der Verdopplungsdosis geführt hat. Jedenfalls ist davon auszugehen, dass der relativ hohe Anteil von Probanden mit fehlender individueller Belastungsermittlung in der Nähe der Verdopplungsdosis-Schätzwerte zur hohen Unsicherheit dieser Schätzwerte beigetragen hat.

### Verzerrung durch Störfaktoren („confounding“)

Als methodischer Vorteil der DWSI ist auf die Prüfung einer großen Zahl potenzieller Störfaktoren (Confounder) hinzuweisen. So wurden im Rahmen der DWSI zusätzlich zu Alter und Studienzentren folgende 26 Faktoren nach einem a priori festgelegten Verfahren im Hinblick auf ihren Confounderstatus überprüft:

- Gewicht (Body Mass Index);
- geborene Kinder (bei Frauen);
- Sport 1 („Ausdauersport“): Jogging, Radfahren, Schwimmen;
- Sport 2 („Ballspiel“): Fußball, Hand-, Volley-, Basketball;
- Sport 3: Geräteturnen, Kugelstoßen, Speer-, Hammerwerfen, Ringen, Gewichtheben;
- Sport 4: Bodybuilding, Krafttraining;
- Ganzkörperschwingungen;
- Hüftstellungsfehler;
- Beinlängendifferenz;
- Verkrümmung der Wirbelsäule;
- Gicht;
- Bechterew'sche Erkrankung;
- Wirbelsäulen-Tuberkulose;

- Scheuermann-Krankheit;
- Wirbelgleiten (Spondylolisthesis);
- Fehlbildung im Bereich der unteren LWS (z. B. Übergangswirbel);
- Unfall (Sturz, Verkehrsunfall) mit Fraktur (Knochenbruch) der Wirbelsäule;
- sonstige Erkrankung mit Beteiligung der LWS;
- berufsbezogene psychosoziale Faktoren;
- Rauchen (Packungsjahre);
- Belastung durch Tod des Partners;
- Belastung durch schwere Erkrankung des Partners;
- Belastung durch Scheidung/Trennung;
- Belastung durch sonstige familiäre Probleme;
- Belastung durch Verlust des Arbeitsplatzes/Kündigung;
- Körpergröße.

Sicherlich umfasst diese Liste nicht alle potenziell relevanten Confounder. So wurde in unserer Studie beispielsweise nicht das außerberufliche Pflegen naher Angehöriger erfasst. Eine negative Assoziation zwischen der beruflichen körperlichen Belastung und der körperlichen Belastung durch das Pflegen naher Angehöriger erscheint dadurch vorstellbar, dass ein hoher zeitlicher Umfang der Pflege von Angehörigen die zeitlichen Möglichkeiten für eine Berufstätigkeit einschränken kann (und vice versa). Damit könnte bei fehlender Adjustierung für die Pflege von Angehörigen eine Unterschätzung des beruflichen Risikos eintreten. Es erscheint aber auch möglich, dass eine Teilgruppe der Pflegekräfte neben ihrer beruflichen Belastung auch vergleichsweise häufig zusätzliche außerberufliche Belastungen durch das Pflegen von Angehörigen aufweist. Somit könnte bei fehlender Adjustierung für die Pflege von Angehörigen das berufliche Risiko auch überschätzt werden. Insgesamt lässt sich also nicht beurteilen, ob die fehlende Einbeziehung der Pflege von Angehörigen eine Ergebnisverzerrung bewirkt und ob diese eventuelle Ergebnisverzerrung eher zu einer Über- oder Unterschätzung der beruflichen Risiken tendiert.

In der DWS1 waren, getrennt für die einzelnen Fallgruppen, diejenigen

Variablen aus einer a priori festgelegten Liste (s. [3], S. 141) als finale Confounder in die logistischen Regressionsmodelle aufgenommen worden, die eine Veränderung der OR in mindestens einer Belastungskategorie um mindestens 10% ergaben (Change-in-estimate-Kriterium). In der Fallgruppe 1 wurde Belastung durch Verlust des Arbeitsplatzes/Kündigung, in den Fallgruppen 3 und 4 wurden psychosoziale Belastungen am Arbeitsplatz als finale Confounder aufgefasst. Allerdings erscheinen die genannten beiden finalen Confounder bei näherer Betrachtung als nicht ganz unproblematisch. Eine Beeinflussung der genannten beiden Faktoren durch Frühstadien von Bandscheibenerkrankungen (z. B. chronische Rückenbeschwerden) ist nicht auszuschließen; damit würde faktisch für die Folgen von intermediären (d. h. auf dem Kausalpfad zwischen körperlichen Belastungen und Bandscheibenerkrankungen liegenden) Faktoren adjustiert. Daraus würde eine Überadjustierung resultieren. Um diese Gefahr zu vermeiden, wurde bei den Kernaussagen der DWS2 auf die Einbeziehung der genannten finalen Confounder der DWS1 verzichtet. Damit wurden in den vorliegenden Auswertungen der DWS2 lediglich Alter (als kategorisierte Variable) und Studienzentrum als Confounder in den logistischen Regressionsmodellen berücksichtigt. Die Variablen Alter und Studienzentrum werden im Folgenden als Grundconfinder bezeichnet. Als Vorteil dieses Verfahrens ist zu nennen, dass sich mit dem Verzicht auf unnötige (oder sogar problematische) Adjustierungsvariablen prinzipiell eine größere Stabilität der Modellierungen erreichen lässt.

In der Gesamtbetrachtung lassen sich keine systematischen Verzerrungen erkennen, denen ein hoher Einfluss auf die vorliegenden Ergebnisse einzuräumen wäre.

### Übereinstimmung der Ergebnisse der DWS2 mit früheren Studienergebnissen

Ein Vergleich der Ergebnisse der DWS2 mit anderen Studienergebnissen steht vor der Schwierigkeit, dass eine vergleichbar umfassende Modellierung der

Dosis-Wirkung-Beziehung zwischen physischen Belastungen und Bandscheibenerkrankungen unseres Wissens international bisher noch nicht durchgeführt wurde. Der grundsätzliche Befund unserer Studie, demzufolge sich bereits bei relativ geringen, respektive in der Allgemeinbevölkerung relativ häufigen, körperlichen Belastungen erhöhte Bandscheibenerkrankungsrisiken aufzeigen lassen, steht im Einklang mit den Ergebnissen der Frankfurter Studie [20–22]. Die meisten diesbezüglichen Studien analysieren den Zusammenhang zwischen selbst eingeschätzten körperlichen Belastungen und Bandscheibenerkrankungen; in Studien mit retrospektiver Expositionserhebung (insbesondere Fall-Kontroll-Studien) kann dies zu einer differenziellen Fehlklassifikation der Exposition führen. In der Frankfurter Studie – ebenfalls eine Fall-Kontroll-Studie – wurde die Auswertung daher nicht nur auf der Grundlage der Selbstangaben von Fällen und Kontrollpersonen, sondern zusätzlich auf der Grundlage einer Job-Expositions-Matrix (JEM) durchgeführt, die ausgehend von den Angaben der Kontrollpersonen entwickelt wurde. Der Vorteil der JEM-Analyse liegt darin, dass Fälle und Kontrollpersonen dieselbe Exposition je Zeiteinheit zugemessen bekommen, wenn sie dieselbe Berufstätigkeit ausgeübt haben. Wird in der Frankfurter Studie der Zusammenhang zwischen der kumulativen Exposition gegenüber Heben und Tragen (ohne Einführung von Schwellen) und extremer Rumpfbeugehaltung (ab 90°) mit der Diagnose eines Bandscheibenprolapses untersucht, so findet sich beim Einsatz der beschriebenen JEM (basierend auf den Medianen der berufsspezifischen Expositionen der Kontrollpersonen) bei einer Lebensdosis von über 4 MNh eine OR von 3,0 (95%-Konfidenzintervall 1,5–6,0; s. [22], Tab. 3). Es ist darauf hinzuweisen, dass in der genannten Auswertung etwa 17% der Kontrollpersonen die genannte Exposition aufweisen. Wird in der beschriebenen Studie die JEM nicht auf der Grundlage der Mediane, sondern auf der Grundlage der arithmetischen Mittelwerte gebildet, weisen sogar fast 50% der Kontrollpersonen eine körperliche Belastung auf, die mit einem signifikant erhöhten Prolapsrisiko verbunden ist.

Gesamtdosis	F (n)	%	K (n)	%	Adjustierte OR (95 %-CI)
<i>a) Männer mit Prolaps und/oder Chondrose (Fallgruppen 1 und 3)</i>					
0 Nh	72	16,7	133	29,4	1,0 -
> 0, < 12,5 * 10 <sup>6</sup> Nh	199	46,2	228	50,3	1,8 (1,3-2,6)
≥ 12,5 * 10 <sup>6</sup> Nh	160	37,1	92	<b>20,3</b>	<b>3,2 (2,2-4,8)</b>
<i>b) Männer mit Prolaps (Fallgruppe 1)</i>					
0 Nh	47	16,4	133	29,4	1,0 -
> 0, < 12,5 * 10 <sup>6</sup> Nh	135	47,2	228	50,3	1,8 (1,2-2,7)
≥ 12,5 * 10 <sup>6</sup> Nh	104	36,4	92	<b>20,3</b>	<b>3,2 (2,0-5,0)</b>
<i>c) Männer mit Chondrose (Fallgruppe 3)</i>					
0 Nh	25	17,2	133	29,4	1,0 -
> 0, < 12,5 * 10 <sup>6</sup> Nh	64	44,1	228	50,3	2,0 (1,2-3,4)
≥ 12,5 * 10 <sup>6</sup> Nh	56	38,6	92	<b>20,3</b>	<b>3,3 (1,8-5,9)</b>

**Abb. 7** ◀ „Odds ratios“ (OR) bei Erreichen/Überschreiten eines Lebensdosiswerts von 12,5 MNh gemäß BSG-Modell (Männer mit Prolaps einzeln und kombiniert). F Fälle, K Kontrollen, *adjustierte OR* für Alter und Region *adjustierte OR*, *95%-CI* 95%-Konfidenzintervall

Eine neuere Kohortenstudie [25] bezieht 5245 Männer in Kopenhagen (Copenhagen Male Study) in die Basisuntersuchung in den Jahren 1970 und 1971 ein. Die Männer werden u. a. nach ihrer körperlichen beruflichen Belastung, nach psychosozialen Arbeitsbedingungen, Lifestyle-Faktoren, Größe und Gewicht gefragt. In den Jahren 1977–2003 werden bei den Kohortenmitgliedern die Krankenhausaufenthalte wegen einer Prolapskrankung im LWS-Bereich in Zusammenhang mit den genannten Expositionen bei der Basisuntersuchung analysiert. Im Ergebnis findet sich ein relatives Erkrankungsrisiko von 3,90 (95%-Konfidenzintervall 1,82–8,38) für Männer (n=247), die häufig anstrengende körperliche Arbeit (die sie ins Schwitzen brachte) ausgeübt haben. Das Prolapsrisiko beträgt 2,37 (95%-Konfidenzintervall 1,36–4,12) bei Männern, die gelegentlich anstrengende körperliche Arbeit ausgeübt haben (n=1186). Als Vergleichsgruppe werden diejenigen Männer einbezogen (n=2328), die selten oder nie anstrengende körperliche Arbeit ausgeübt haben. Zwar setzt die genannte Studie ein sehr einfaches, grobes und auf Selbstangaben beruhendes Instrument der Expositionsabschätzung ein. Allerdings handelt es sich um eine prospektive Kohortenstudie mit einer 33-jährigen Follow-up-Zeit, sodass die Beeinflussung der Expositionsangaben durch Krankheitssymptome na-

hezu ausgeschlossen werden kann. Auch in dieser Studie war ein hoher Anteil der Probanden (38%) einer körperlichen Belastung ausgesetzt, die mit einem deutlich erhöhten, teilweise das „Verdopplungsrisiko“ überschreitenden Prolapsrisiko verbunden war.

### Bewertung der Ergebnisse vor dem Hintergrund des Berufskrankheitenrechts

#### Anpassungsgüte des BSG-Modells in der DWS2

Wesentlich auf der Grundlage der Ergebnisse der DWS1 senkte das Bundessozialgericht (BSG) in seinem Urteil vom 30.10.2007 (AZ: B 2 U 4/06 R) mehrere aus dem MDD zitierte Schwellenwerte (Druckkraftschwelle, Lebensdosischwelle) ab bzw. verzichtete sogar ganz auf eine Tagesdosischwelle.

Im Rahmen der DWS2 war a priori, also bereits im ursprünglichen Projektantrag, festgelegt worden, neben der Variation verschiedener Eigenschaften des MDD auch das vom BSG in seinem Urteil vom 30.10.2007 formulierte Verfahren auf seine Anpassungsgüte hin zu untersuchen. Diesbezüglich ist festzuhalten, dass sich das genannte BSG-Urteil auf einen männlichen Kläger bezieht; daher wird die Anpassungsgüte des BSG-Modells in der DWS2 lediglich für Pro-

lapskrankungen und Chondrosen bei Männern untersucht.

Folgende Eigenschaften kennzeichnen das „BSG-Modell“ bei Männern:

- eine Absenkung der Druckkraftschwelle des MDD von 3,2 auf 2,7 kN;<sup>9</sup>
- der Verzicht auf eine Tagesdosischwelle;<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Das BSG begründet in seinem Urteil vom 30.10.2007 (BSG 2007) die vorgenommene Absenkung der Druckkraftschwelle auf 2,7 kN (im Verfahren eines männlichen Klägers) nicht ausschließlich mit den Ergebnissen der DWS1. Vielmehr wird im genannten Urteil darauf hingewiesen, dass „bei der BK Nr. 2108 ... als Einwirkungen nicht nur das Heben, sondern auch das Tragen schwerer Lasten in Rechnung zu stellen sind und die Druckkraft beim Tragen von 20 kg nach den Bestimmungsgleichungen des MDD 2700 N beträgt“ [Randnummer (RdNr.) 25 der Urteilsbegründung]. Aus dem vorgenannten Wortlaut kann abgeleitet werden, dass das BSG offensichtlich das Tragen ebenso wie das Heben von 20 kg als „schwer“ im Sinne der Legaldefinition und daher als von der Legaldefinition der BK 2108 umfasst ansieht.

<sup>10</sup> Der Verzicht auf eine Mindesttagesdosis erfolgt nach dem BSG-Urteil „entsprechend dem Ergebnis der Deutschen Wirbelsäulenstudie“. Als Begründung für den Verzicht auf eine Mindesttagesdosis von 5500 Nh für Männer weist das BSG in seinem Urteil darauf hin, dass es für die genannte Mindesttagesdosis „keine gesicherte Ableitung“ gibt (RdNr. 26 der Urteilsbegründung).

Gesamtdosis	F (n)	%	K (n)	%	Adjustierte OR (95%-CI)
<b>a) Erreichen/Überschreiten der abgeschätzten „Verdopplungsdosis“ (7 MNh) versus Lebensdosis von 0 MNh</b>					
0 Nh	76	17,6	143	31,6	1,0 -
>0, <7 * 10 <sup>6</sup> Nh	91	21,1	138	30,5	1,4 (0,9-2,1)
<b>≥7 * 10<sup>6</sup> Nh</b>	<b>264</b>	<b>61,3</b>	<b>172</b>	<b>38,0</b>	<b>3,0 (2,1-4,2)</b>
<b>b) Erreichen höherer Expositionskategorien versus Lebensdosis von 0 MNh</b>					
0 Nh	76	17,6	143	31,6	1,0 -
>0, <7 * 10 <sup>6</sup> Nh	91	21,1	138	30,5	1,4 (1,0-2,1)
<b>≥7, &lt;10 * 10<sup>6</sup> Nh</b>	<b>35</b>	<b>8,1</b>	<b>32</b>	<b>7,1</b>	<b>2,1 (1,2-3,7)</b>
<b>≥10, &lt;18 * 10<sup>6</sup> Nh</b>	<b>51</b>	<b>11,8</b>	<b>37</b>	<b>8,2</b>	<b>3,0 (1,7-5,0)</b>
<b>≥18, &lt;30 * 10<sup>6</sup> Nh</b>	<b>66</b>	<b>15,3</b>	<b>34</b>	<b>7,5</b>	<b>3,9 (2,3-6,5)</b>
<b>≥30, &lt;56 * 10<sup>6</sup> Nh</b>	<b>64</b>	<b>14,8</b>	<b>35</b>	<b>7,7</b>	<b>3,5 (2,1-5,9)</b>
<b>≥56 * 10<sup>6</sup> Nh</b>	<b>48</b>	<b>11,1</b>	<b>34</b>	<b>7,5</b>	<b>2,5 (1,4-4,3)</b>

**Abb. 8** ◀ Ergebnisse der schrittweise Schwellenerhöhung bei Männern (Fallgruppen 1 und 3; Quintile der Verteilung bei Kontrollpersonen ≥7 MNh). OR „odds ratio“, 95%-CI 95%-Konfidenzintervall

- die Halbierung der Lebensdosischwelle von 25 auf 12,5 MNh;<sup>11</sup>
- den Nicht-Einbezug von Einwirkungen wie Ziehen/Schieben, Fangen/Werfen usw.

Das BSG-Modell lässt sich in der im Urteil vom 30.10.2007 formulierten Form ausschließlich auf Männer anwenden, da nur für Männer<sup>12</sup> die entsprechenden Schwellen definiert sind (Druckkraftschwelle von 2,7 kN, Rumpfvorneigungsschwelle von 90°, Tagesdosischwelle von 0 kNh, Lebensdosischwelle von 12,5 MNh). Beim Vergleich des BSG-Modells mit dem in der DWS2 verwendeten Grundmodell

<sup>11</sup> Die Halbierung der im MDD als Orientierungswert für die Gesamtbelastungsdosis vorgeschlagene Lebensdosischwelle (als unterer Grenzwert) wird vom BSG ebenfalls mit den Ergebnissen der DWS begründet, die eine „deutliche Reduzierung der maßgebenden Mindestbelastungsdosis“ erforderlich machten (RdNr. 27 der Urteilsbegründung).

<sup>12</sup> Das BSG-Modell wurde für Männer konzipiert, da das entsprechende Urteil zu einem männlichen Kläger gefällt wurde und entsprechende Auslegungen für Frauen nicht Gegenstand der Urteilsbegründung sind. Zur Verdeutlichung der Konsequenzen einer Anwendung des BSG-Modells auch für Frauen wurden die AIC-Werte in **Abb. 2** auch für Frauen berechnet. Im Ergebnis liegt das BSG-Modell bei Frauen mit Prolaps (Fallgruppe 2) außerhalb der 95%-Modellkonfidenzmenge, bei Frauen mit Chondrose (Fallgruppe 4) innerhalb.

(Druckkraftschwelle von 2,0 kN, Rumpfvorneigungsschwelle von 45°, Tagesdosischwelle von 0 kNh) zeigte sich für die Fallgruppe 1 (Männer mit Prolaps) eine schlechtere Modellanpassung; das BSG-Modell lag außerhalb der 95%-Modellkonfidenzmenge.

Demgegenüber zeigte sich beim Vergleich des BSG-Modells mit dem Grundmodell (und auch mit dem Referenzdosismodell der DWS2 (Druckkraftschwelle von 3,2 kN, Rumpfvorneigungsschwelle von 45°, Tagesdosischwelle von 2,0 kNh) für die Fallgruppe 3 (Männer mit Chondrose) ein nominal sogar etwas niedrigerer AIC-Wert (**Abb. 2**). Das BSG-Modell passt für die Fallgruppe 3 formal sogar etwas besser an als das Referenzdosismodell. Die berufsbezogenen Risiken für Prolapskrankungen bei Männern lassen sich mit dem BSG-Modell (Druckkraftschwelle von 2,7 kN, Rumpfvorneigungsschwelle von 90°, Tagesdosischwelle von 0 kNh) also schlechter abbilden als mit dem Referenzmodell (Druckkraftschwelle von 3,2 kN, Rumpfvorneigungsschwelle von 45°, Tagesdosischwelle von 2,0 kNh), die berufsbezogenen Risiken für Chondrosen etwa genauso gut.

Für Männer, die den Lebensdosiswert von 12,5 MNh gemäß BSG-Modell erreichen oder überschreiten, ergibt sich bei der Auswertung mit kategorisierten ExpositionsvARIABLEN eine OR von 3,2

(95%-Konfidenzintervall 2,2–4,8) für Prolapskrankungen oder Chondrosen (Referenzgruppe: Männer mit einem Lebensdosiswert von 0 MNh gemäß BSG-Modell, **Abb. 7a**). Bei gesonderter Betrachtung von Prolapsen und Chondrosen sind die Ergebnisse ähnlich (**Abb. 7b, c**).

Insgesamt hat das BSG in seinem Urteil vom 30.10.2007 einen Vorschlag zur Bewertung der arbeitstechnischen Voraussetzungen der BK Nr. 2108 formuliert, der sowohl die grundsätzliche wissenschaftliche Aussage der DWS1 zum Erfordernis abgesenkter Schwellenwerte als auch die rechtlich vorgegebenen Kriterien der Legaldefinition berücksichtigt. Naturgemäß sind die Eigenschaften des BSG-Modells als Setzungen und nicht als streng wissenschaftliche Ableitungen zu verstehen.

### Zur Umsetzbarkeit der Ergebnisse der DWS2 in die Berufskrankheiten-Anerkennungspraxis

Die vertiefende Reanalyse der Daten der DWS1 im Rahmen der DWS2 hatte die Ableitung geeigneter Richtwerte für die Anerkennungspraxis der BK Nr. 2108 BKV zum Ziel. Hinzuweisen ist auf einige grundsätzliche Probleme bei der Umsetzung der Studienergebnisse in der BK-Anerkennungspraxis.

1. Die Legaldefinition der BK Nr. 2108 BKV lautet: „Bandscheibenbedingte Erkrankungen der LWS durch lang-

Gesamtdosis	F (n)	%	K (n)	%	Adjustierte OR (95%-CI)
<i>a) Erreichen/Überschreiten der abgeschätzten „Verdopplungsdosis“ (3 MNh) versus Lebensdosis von 0 MNh</i>					
0 Nh	133	27,5	204	45,5	1,0 -
>0, <3 * 10 <sup>6</sup> Nh	88	18,2	86	19,2	1,9 (1,3-2,8)
<b>≥3 * 10<sup>6</sup> Nh</b>	<b>263</b>	<b>54,3</b>	<b>158</b>	<b>35,3</b>	<b>2,8 (2,1-3,9)</b>
<i>b) Erreichen höherer Expositionskategorien versus Lebensdosis von 0 MNh</i>					
0 Nh	133	27,5	204	45,5	1,0 -
>0, <3 * 10 <sup>6</sup> Nh	88	18,2	86	19,2	1,9 (1,3-2,8)
<b>≥3, &lt;4,5 * 10<sup>6</sup> Nh</b>	<b>33</b>	<b>6,8</b>	<b>30</b>	<b>6,7</b>	<b>1,9 (1,1-3,4)</b>
<b>≥4,5, &lt;8,5 * 10<sup>6</sup> Nh</b>	<b>55</b>	<b>11,4</b>	<b>33</b>	<b>7,4</b>	<b>3,2 (1,9-5,3)</b>
<b>≥8,5, &lt;14 * 10<sup>6</sup> Nh</b>	<b>52</b>	<b>10,7</b>	<b>33</b>	<b>7,4</b>	<b>2,9 (1,7-4,8)</b>
<b>≥14, &lt;24,5 * 10<sup>6</sup> Nh</b>	<b>53</b>	<b>11,0</b>	<b>31</b>	<b>6,9</b>	<b>2,8 (1,7-4,7)</b>
<b>≥24,5 * 10<sup>6</sup> Nh</b>	<b>70</b>	<b>14,5</b>	<b>31</b>	<b>6,9</b>	<b>3,3 (2,0-5,4)</b>

**Abb. 9** ◀ Ergebnisse der schrittweisen Schwellenerhöhung bei Frauen (Fallgruppen 2 und 4; Quintile der Verteilung bei Kontrollpersonen ≥3 MNh). OR „odds ratio“, 95%-CI 95%-Konfidenzintervall

jähriges Heben oder Tragen schwerer Lasten oder durch langjährige Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung ...“. Diesbezüglich ist die grundsätzliche Frage zu stellen, inwieweit die Eigenschaften unseres Referenzdosismodells (insbesondere die Rumpfvorneigungsschwelle von 45° und das Ziehen und Schieben ohne Heben und Tragen von Lasten) mit der Legaldefinition vereinbar sind. Diese Frage wirft auch das BSG in seinem Urteil vom 30.10.2007 auf, wenn es zwischen den wissenschaftlichen Ergebnissen der DWS1 und der „geltenden Legaldefinition“ unterscheidet. So weist das BSG darauf hin, dass die (in der DWS1) am besten anpassenden Modelle „über die geltende Legaldefinition der BK Nr. 2108 Anl. BKV hinaus“ gehen, da sie auch Tätigkeiten außerhalb der rechtlich vorgegebenen Kriterien „schweres Heben und Tragen“ und „extreme Rumpfbeugehaltung“ berücksichtigten (RdNr. 23 der Urteilsbegründung). Würde die Frage nach der Vereinbarkeit der Eigenschaften unseres Referenzdosismodells mit der Legaldefinition der BK Nr. 2108 BKV verneint und stattdessen eine höhere Rumpfvorneigungsschwelle in der BK-Anerkennungspraxis für erforderlich gehalten, dann ließen sich auch die konsekutiven Le-

bensdosissschwellen auf Basis unseres Referenzdosismodells nicht aufrechterhalten. Es ergäbe sich ein anderes Referenzdosismodell, dessen Anpassungsgüte zu prüfen wäre. Eine Anwendung des Referenzdosismodells in der BK-Anerkennungspraxis ließe sich dann nur über die Änderung der Legaldefinition erreichen.

- Der unmittelbare Einsatz der abgeleiteten Verdopplungsdosiswerte im BK-Verfahren würde gemäß 7. Sozialgesetzbuch voraussetzen, dass diese Verdopplungsdosiswerte besondere Einwirkungen beschreiben, denen bestimmte Personengruppen in erheblich höherem Grad als die übrige Bevölkerung ausgesetzt sind. Die Häufigkeit einer potenziell risikobehafteten Exposition in der allgemeinen Bevölkerung ist also zu berücksichtigen, wenn es um die Definition „besonderer Einwirkungen“ geht, d. h. um die Definition eines geeigneten Richtwerts zur Ermittlung einer gefährdenden Tätigkeit. Es ist unklar, inwieweit Expositionsprävalenzen<sup>13</sup> von 35 bis knapp 40% in der allge-

<sup>13</sup> In den **Abb. 7 und 8**, auf die im nächsten Abschnitt eingegangen wird, lassen sich prozentuale Anteile der Kontrollpersonen in den einzelnen Expositionskategorien als Schätzwerte der Expositionsprävalenzen in der allgemeinen Bevölkerung verstehen.

meinen Bevölkerung – wie sie sich für Lebensdosiswerte von 7 MNh bei Männern und von 3 MNh bei Frauen in unserer Studie finden – mit dem Vorliegen „besonderer Einwirkungen“ gemäß dem 7. Sozialgesetzbuch vereinbar sind. 38% der Männer in der allgemeinen („übrigen“) Bevölkerung und 35% der Frauen in der allgemeinen Bevölkerung erreichen oder überschreiten die genannten Lebensdosiswerte. Die Expositionsprävalenzen lassen sich prinzipiell verringern, wenn die Lebensdosissschwellenwerte erhöht werden. In der unten wiedergegebenen explorativen Analyse sollen die Folgen einer solchen Schwellenerhöhung auf die Schätzwerte (OR) der relativen Bandscheibenerkrankungsrisiken (basierend auf kategorisierten Expositionsdaten) getrennt für Männer und Frauen betrachtet werden.

- Den mit den oben beschriebenen Methoden ermittelten Verdopplungsdosiswerten kommt eine hohe Unsicherheit zu, die sich in weiten 95%-Konfidenzintervallen ausdrückt. Wenn also die genannten Werte als Richtwerte in BK-Verfahren eingesetzt würden, könnte u. U. bei einer vergleichsweise hohen Zahl von Erkrankten fälschlicherweise ein Ursachenzusammenhang mit der



beruflichen Belastung bejaht werden. Grundsätzlich würde eine Erhöhung der Lebensdosisschwelle bei der Ermittlung der arbeitstechnischen Voraussetzungen die Wahrscheinlichkeit falsch-positiver Befunde verringern; eine Erhöhung der Lebensdosisschwelle bei der Ermittlung der arbeitstechnischen Voraussetzungen würde also die *Spezifität* einer (auf der Überschreitung dieser Schwellen basierenden) Bejahung des Ursachenzusammenhangs erhöhen. Dies wäre damit prinzipiell ein Weg, der im zweiten Punkt angeführten Unsicherheit der Abschätzung der Verdopplungsdosis zu begegnen. Allerdings würde eine Erhöhung der Lebensdosisschwelle ebenfalls die *Sensitivität* einer Bejahung des Ursachenzusammenhangs verringern; eine Erhöhung der Lebensdosisschwelle bei der Ermittlung der arbeitstechnischen Voraussetzungen würde die Wahrscheinlichkeit falsch-negativer Befunde erhöhen. In jedem Fall sollte bestmöglich vermieden werden, dass sich bereits unterhalb definierter (erhöhter) Schwellen Bandscheiben-erkrankungen finden, die mit Wahrscheinlichkeit auf die Berufstätigkeit zurückzuführen sind. Durch die Angabe der Risikoschätzer für definierte Expositionskategorien oberhalb der Lebensdosiswerte von 7 MNh bzw. 3 MNh lässt die nachfolgend skizzierte explorative Analyse auch bezüglich des letztgenannten Kriteriums Schlüsse zu.

Die Bestimmung der Risikoschätzer für (gegenüber den „best estimates“) erhöhte Lebensdosisschwellen erfolgt schrittweise durch eine Aufteilung jeweils derjenigen Expositionsgruppe, die oberhalb einer Schwelle liegt. Die resultierende Expositionsgruppe oberhalb der neu entstandenen Schwelle wird im nächsten Schritt wiederum aufgeteilt usw. Der Referenzkategorie werden alle Probanden zugeordnet, die eine Lebensdosis von 0 MNh aufweisen. Um eine möglichst kleinschrittige Erhöhung der Lebensdosisschwelle zu erreichen, werden geschlechtsspezi-

fische Quintile<sup>14</sup> der Verteilung derjenigen Kontrollprobanden gebildet, die die geschlechtsspezifische Lebensdosis von 7 bzw. 3 MNh überschreiten (mit Rundung auf ganze oder halbe MNh-Zahlenwerte). Bei Männern werden demzufolge Lebensdosisschwellen von 7, 10, 18, 30 und 56 MNh untersucht, bei Frauen Lebensdosisschwellen von 3; 4,5; 8,5; 14 und 24,5 MNh.

Werden alle Männer mit einer Lebensdosis oberhalb von 7 MNh in einer Gruppe zusammengefasst (■ Abb. 8a, grau schraffierte Zeile), dann ergibt sich für diese Expositionsgruppe eine deutlich erhöhte OR von 3 mit einem engen Konfidenzintervall von 2,1 bis 4,2. Nachfolgend wurde diese Gruppe weiter aufgeteilt (■ Abb. 8b), sodass sich letztlich<sup>15</sup> fünf gleich große Gruppen (Quintile) ergaben. Es lässt sich bei den Männern zunächst bis zu einem Bereich von 18–30 MNh ein Anstieg des Risikos, abgeschätzt durch die OR, finden, gefolgt von einem leichten Abfall des Risikos hin zu einer OR von 2,5 bei Männern mit einer Lebensdosis von mehr als 56 MNh (■ Abb. 8).

Wenn entsprechend alle Frauen mit einer Lebensdosis oberhalb von 3 MNh in einer Gruppe zusammengefasst werden (■ Abb. 9a, grau schraffierte Zeile), dann ergibt sich eine OR von 2,8 mit einem engen Konfidenzintervall von 2,1 bis 3,9. Bei Aufteilung dieser oberen Gruppe in Quintile lässt sich bis zu einem Dosisbereich von 4,5–8,5 MNh eine Risikoerhöhung bis auf 3,2 feststellen. Das Risiko bleibt

dann bei den höheren Expositionen annähernd konstant bei etwa 3 (■ Abb. 9b).<sup>16</sup>

## Fazit

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die vorliegende vertiefende Reanalyse der DWS1 deren grundsätzliches Ergebnis bestätigt, demzufolge sich auch unterhalb bestimmter Schwellenwerte des MDD ein erhöhtes Bandscheiben-erkrankungsrisiko findet [3, 4, 18, 19]. Den vorliegenden Ergebnissen zufolge führt insbesondere eine Verringerung der vom MDD vorgesehenen Schwellen bezüglich Rumpfnähe und Tagesdosis zu einer verbesserten Abbildung der Bandscheiben-erkrankungsrisiken.

Dementsprechend sprechen die Studienergebnisse dafür, dass wesentliche MDD-Grundgedanken wissenschaftlich vertretbar sind. Hierzu zählen

- die Berechnung der Tagesdosis durch eine quadratische Wichtung der Druckkraft gegenüber einer einfachen Wichtung der Einwirkungsdauer ( $F^2 \cdot t$ );
- die Summierung der einzelnen Teildosen mit anschließender Wurzelbildung je Tag (Wurzel über der Tagessumme);
- die Verwendung einer Vollwert-Berücksichtigung im Umgang mit Schwellenwerten (alle Werte unterhalb einer Schwelle werden auf Null gesetzt, alle überschwelligen Werte gehen ohne Abzug vollwertig in die Dosisberechnung ein);
- die Einführung geschlechtsspezifischer Schwellenwerte für Bandscheibendruckkraft, Tagesdosis und Lebensdosis.

Die in der Studie durch Mittelung aller Modelle mit einer – statistisch nicht

<sup>14</sup> Eine noch feinere Unterteilung würde zu sehr kleinen Felderbelegungen führen. Allerdings ist die Wahl von Quintilen willkürlich erfolgt; grundsätzlich hätte auch eine Einteilung in Quartile oder Sextile erfolgen können.

<sup>15</sup> In der vorliegenden Darstellung können aus Platzgründen nicht die Ergebnisse für die einzelnen Zwischenschritte der schrittweisen Erhöhung der Lebensdosisschwelle dargestellt werden. Für eine entsprechende Darstellung mit Diskussion der Resultate wird auf den Abschlussbericht der DWS2 verwiesen [24].

<sup>16</sup> Es ist darauf hinzuweisen, dass die in ■ Abb. 7, 8 und 9 dargestellten Auswertungen auf der Basis kategorisierter Expositionsvariablen erfolgten. Die in der DWS2 ermittelten besten kontinuierlichen Dosismodelle weisen eine bessere Anpassungsgüte auf als die kategorisierten Dosismodelle der DWS1. Die Vor- und Nachteile kategorisierter Auswertungen sind Gegenstand kontroverser Diskussionen, die an dieser Stelle nicht erschöpfend abgehandelt werden können.

unterscheidbaren – guten Anpassung berechneten Schwellenwerte der Bandscheibendruckkraft für manuelle Lastenhandhabungen von 3,2 kN (Männer) bzw. 2,5 kN (Frauen) entsprechen den Druckkraft-Schwellenwerten des Original-MDD.

Bezüglich der Rumpfbeugehaltungen wurde für alle Fallgruppen (Männer/Frauen mit Prolaps/Chondrose) im Rahmen der Entwicklung von „best estimates“ eine Rumpfvorneigungsschwelle von 45° abgeleitet. Die Ableitung von Konsequenzen für das BK-Begutachtungsgeschehen hat zu berücksichtigen, dass dieser zugrunde gelegte Schwellenwert nicht ohne Weiteres mit der Legaldefinition der BK 2108 vereinbar erscheint.

Durch den Multi-Modell-Ansatz ergaben sich im Endergebnis geschlechtsspezifische Tagesdosissschwellen, die unterhalb der im MDD verwendeten Werte liegen, und zwar bei 2,0 kNh (Männer) bzw. 0,5 kNh (Frauen). Hinsichtlich der kumulativen Lebensdosis, bei der ein Verdopplungsrisiko für eine bandscheibenbedingte LWS-Erkrankung vorliegt, ergab die Studie mit 7 MNh (Männer) bzw. 3 MNh (Frauen) für beide Geschlechter niedrigere Werte, als im aktuellen BK-Verfahren verwendet. Hierbei ist auf die hohen Unsicherheiten der Ergebnisse bei der Bestimmung der Lebensdosiswerte hinzuweisen. Tatsächlich finden sich zwar keine eindeutigen Hinweise auf eine systematische Über- oder Unterschätzung der Ergebnisse, sodass die resultierenden Lebensdosiswerte als „best estimates“ aufzufassen sind. Andererseits bedingen aber sowohl der Kurvenverlauf der Dosis-Wirkung-Beziehung (mit einem starken Anstieg des Risikos schon bei relativ geringen Belastungen, gefolgt von einem Abfall des Risikos, der im Kurvenverlauf als deutliche „Rechtskurve“ imponiert) wie auch die eingeschränkte Studienpower eine hohe Unsicherheit dieser Punktschätzer der Verdopplungsdosis.

Die weitere Diskussion wird zeigen, ob die Ergebnisse der vorliegenden Reanalyse bezüglich der Aussagen zu den einzelnen Eigenschaften des kumulativen Dosismodells als so belastbar erscheinen, dass eine Änderung der Legaldefinition

gerechtfertigt wäre. Gerade die Ergebnisse hinsichtlich der Variation der Druckkraftschwelle und der Variation der Rumpfvorneigungsschwelle lassen sich aufgrund ihrer eingeschränkten Differenzierungskraft durchaus als kritisch ansehen.

### Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. A. Seidler**

Institut und Poliklinik für Arbeits- und Sozialmedizin, TU Dresden  
Fetscherstr. 74, 01307 Dresden  
ArbSozPH@mailbox.tu-dresden.de

### Einhaltung ethischer Richtlinien

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

Alle im vorliegenden Manuskript beschriebenen Untersuchungen am Menschen wurden mit Zustimmung der zuständigen Ethik-Kommission, im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt. Von allen Patienten liegt eine Einverständniserklärung vor.

### Literatur

1. Bergmann A, Seidler A, Schumann B et al (2007) Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition durch Ganzkörpervibration und bandscheibenbedingten Erkrankungen der Lendenwirbelsäule – Auswertungen innerhalb der Deutschen Wirbelsäulenstudie. *Zbl Arbeitsmed* 57:317–327
2. Bergmann A, Bolm-Audorff U, Ditchen D et al (2014) Lumbaler Bandscheibenvorfall mit Radikularsyndrom und fortgeschrittene Osteochondrose. Prävalenzschätzung im Rahmen der DWS-Richtwertstudie in der Allgemeinbevölkerung. *Zbl Arbeitsmed* 64:233–238
3. Bolm-Audorff U, Bergmann A, Ditchen D et al (2007) Abschlussbericht zur Deutschen Wirbelsäulenstudie. [http://www.dguv.de/medien/inhalt/versicherung/arbeits\\_wegeunfall/documents/abschlussbericht.pdf](http://www.dguv.de/medien/inhalt/versicherung/arbeits_wegeunfall/documents/abschlussbericht.pdf)
4. Bolm-Audorff U, Bergmann A, Ditchen D et al (2007) Zusammenhang zwischen manueller Lastenhandhabung und lumbaler Chondrose – Ergebnisse der Deutschen Wirbelsäulenstudie. *Zbl Arbeitsmed* 57:304–316
5. Bundessozialgericht, AZ.: B 2 U 4/06 R, Urteil vom 30.10.2007
6. Ditchen D, Lundershausen N, Bolm-Audorff U et al (2014) Abschätzung von lumbalen Bandscheibendruckkräften in BK-2108-Verfahren. Entwicklung eines Instruments innerhalb der DWS-Richtwertstudie. *Zbl Arbeitsmed* 64:258–269

7. Ellegast R, Ditchen D, Bergmann A et al (2007) Erhebungen zur beruflichen Wirbelsäulenexposition durch die Technischen Aufsichtsämter der Unfallversicherungsträger im Rahmen der Deutschen Wirbelsäulenstudie. *Zbl Arbeitsmed* 57:251–263
8. 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
9. Hartvigsen J, Bakkevig LS, Leboeuf-Yde C et al (2001) The association between physical workload and low back pain clouded by the „healthy worker“ effect: population-based cross-sectional and 5-year prospective questionnaire study. *Spine* 26:1788–1792 (discussion 1792–1793)
10. Jäger M, Geiß O, Bergmann A et al (2007) Biomechanische Analysen zur Belastung der Lendenwirbelsäule innerhalb der Deutschen Wirbelsäulenstudie. *Zbl Arbeitsmed* 57:264–276
11. 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
12. Jäger M, Luttmann A, Göllner R, Laurig W (2000) Der Dortmunder: 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.
13. Jäger M, Jordan C, Voß J et al (2014) Erweiterte Auswertung der Deutschen Wirbelsäulenstudie. Hintergrund und Vorgehensweise der DWS-Richtwertstudie. *Zbl Arbeitsmed* 64:151–168
14. Linhardt O, Bolm-Audorff U, Bergmann A et al (2007) Studiendesign der Deutschen Wirbelsäulenstudie. *Zbl Arbeitsmed* 57:243–250
15. Michaelis M, Hofmann F, Bolm-Audorff U et al (2007) Risikobranchen und -berufe für die Entwicklung bandscheibenbedingter Erkrankungen der Lendenwirbelsäule – Ergebnisse der Deutschen Wirbelsäulenstudie. *Zbl Arbeitsmed* 57:277–286
16. Morfeld P, Ellegast R, Ditchen D et al (2014) Ableitung kumulativer Dosismodelle zur Auswertung physischer Belastungen. Methodik der Multi-Modell-Analyse innerhalb der DWS-Richtwertstudie. *Zbl Arbeitsmed* 64:169–183
17. Petereit-Haack G, Bolm-Audorff U, Bergmann A et al (2007) Zusammenhang zwischen beruflichen psychosozialen Belastungen und bandscheibenbedingten Erkrankungen der Lendenwirbelsäule – Ergebnisse der Deutschen Wirbelsäulenstudie. *Zbl Arbeitsmed* 57:328–336
18. Seidler A, Bergmann A, Ditchen D et al (2007) Zusammenhang zwischen der kumulativen Wirbelsäulenbelastung durch Lastenhandhabungen und lumbalen Prolapserkrankungen – Ergebnisse der Deutschen Wirbelsäulenstudie. *Zbl Arbeitsmed* 57:290–303

	Lesetipp	Buchbesprechung
<p>19. Seidler A, Bergmann A, Jäger M et al (2009) Cumulative occupational lumbar load and lumbar disc disease – results of a German multi-center case-control study (EPILIFT). <i>BMC Musculoskelet Disord</i> 7:10–48</p> <p>20. 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. <i>Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed</i> 36:10–20</p> <p>21. Seidler A, Bolm-Audorff U, Heiskel H et al (2001) The role of cumulative physical work load in lumbar spine disease: risk factors for lumbar osteochondrosis and spondylosis associated with chronic complaints. <i>Occup Environ Med</i> 58:735–746</p> <p>22. Seidler A, Bolm-Audorff U, Siol T et al (2003) Occupational risk factors for symptomatic lumbar disc herniation: a case-control study. <i>Occup Environ Med</i> 60:821–830</p> <p>23. Seidler A, Euler U, Bolm-Audorff U et al (2011) Physical workload and accelerated occurrence of lumbar spine diseases: risk and rate advancement periods in a German multicenter case-control study. <i>Scand J Work Environ Health</i> 37:30–36</p> <p>24. Seidler A, Bergmann A, Bolm-Audorff U et al (2012) Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Erweiterte Auswertung der Deutschen Wirbelsäulenstudie mit dem Ziel der Ableitung geeigneter Richtwerte“ Kurztitel: „DWS-Richtwerteableitung“. <a href="http://www.dguv.de/Projekt Datenbank/0155A/Abschlussbericht.pdf">http://www.dguv.de/Projekt Datenbank/0155A/Abschlussbericht.pdf</a>. Zugegriffen: 24. Okt. 2013</p> <p>25. Sørensen IG, Jacobsen P, Gyntelberg F, Suadicani P (2011) Occupational and other predictors of herniated lumbar disc disease – a 33-year follow-up in the Copenhagen Male Study. <i>Spine</i> 36:1541–1546</p>	<h3 data-bbox="608 176 938 239">Kleinräumige Versorgungsforschung</h3> <p data-bbox="608 275 973 621">Gesundheitspolitik, die Krankenkassen und ihre Vertragspartner sowie Versicherte und Patienten stehen vor der Herausforderung, unser Gesundheitssystem an sich verändernde strukturelle und finanzielle Rahmenbedingungen anzupassen. Der kleinräumigen Versorgungsforschung wird die Aufgabe zuwachsen, Politik, Vertragspartner und Öffentlichkeit darüber zu informieren, ob und ggf. wie eine größtmögliche Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse in der medizinischen Versorgung</p>  <p data-bbox="608 888 973 972">gewahrt bzw. wiederhergestellt werden kann. Die Ausgabe 2/2014 der Zeitschrift <i>Bundesgesundheitsblatt</i> erläutert die spezifischen Fragestellungen, Methoden und Verbindungen zwischen Wissenschaft und Praxis im Versorgungsgeschehen in unter anderem folgenden Beiträgen:</p> <ul data-bbox="608 978 973 1266" style="list-style-type: none"> <li>— John E. Wennberg, Pionier der regionalen Versorgungsforschung</li> <li>— Versorgungsforschung aus Sicht der Bundesärztekammer unter Berücksichtigung kleinräumiger Analysen</li> <li>— Statistische Methoden der kleinräumigen Versorgungsforschung</li> <li>— Datenlinkage von Primär- und Sekundärdaten</li> <li>— Lernen aus regionalen Unterschieden</li> </ul> <p data-bbox="608 1297 973 1556">Bestellen Sie diese Ausgabe zum Preis von 16,- EUR zzgl. Versandkosten bei Springer Customer Service Center Kundenservice Zeitschriften Haberstr. 7 69126 Heidelberg Tel.: +49 6221-345-4303 Fax: +49 6221-345-4229 E-Mail: <a href="mailto:leserservice@springer.com">leserservice@springer.com</a></p> <p data-bbox="608 1587 973 1787">Suchen Sie noch mehr zum Thema? Mit e.Med, dem Online-Paket von Springer Medizin, können Sie schnell und komfortabel in über 500 medizinischen Fachzeitschriften recherchieren. Weitere Infos unter <a href="http://springermedizin.de/eMed">springermedizin.de/eMed</a>.</p>	<p data-bbox="1062 180 1417 359"><b>W. Kohte, U. Faber, K. Feldhoff</b> <b>Gesamtes Arbeitsschutzrecht</b> Arbeitsschutz, Arbeitszeit, Arbeitssicherheit, Arbeitswissenschaft Nomos 2014, 1402 S., (ISBN 978-3-8329-5428-4), 128.00 EUR</p> <p data-bbox="1062 390 1437 968">Der Handkommentar zum gesamten Arbeitsschutzrecht der Herausgeber Wolfhard Kohte, Ulrich Faber und Kerstin Feldhoff kommentiert die einschlägigen Normen auf aktuellstem Stand und berücksichtigt dabei die internationale und europäische Rechtsentwicklung. Es werden sämtliche für den Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz bedeutende Bereiche in übersichtlicher Form zusammengebracht. In dem Kommentar werden diese Normen mit neuen arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen verknüpft und dabei auch straf-, verwaltungs- und sozialrechtliche Aspekte einbezogen. Auch wurden die Neuregelungen zur psychischen Belastung am Arbeitsplatz sowie die neue ArbMedVV eingearbeitet. Das Handbuch ist für alle von großem Interesse, die in Betrieben und Behörden für den Arbeitsschutz am Arbeitsplatz verantwortlich sind. Kommentiert werden</p> <ul data-bbox="1062 999 1417 1318" style="list-style-type: none"> <li>— Arbeitsschutzgesetz</li> <li>— Arbeitszeitgesetz</li> <li>— Arbeitssicherheitsgesetz</li> <li>— SGB V, SGB VII, SGB IX</li> <li>— ArbMedVV</li> <li>— LärmVibrationsArbSchV</li> <li>— BetriebssicherheitsV und BaustellIV</li> <li>— GefahrstoffV und BiostoffV</li> <li>— PSA-BenutzungsV</li> <li>— ArbeitsstättenV und BildschirmarbeitV</li> <li>— LastenhandhabV</li> </ul> <p data-bbox="1062 1350 1417 1818">Weiterhin werden wichtige Querschnittsthemen wie</p> <ul data-bbox="1062 1413 1430 1818" style="list-style-type: none"> <li>— Beteiligungsrechte der Betriebs- und Personalräte sowie der Mitarbeitervertretungen</li> <li>— Betrieblicher Mutterschutz und Jugendarbeitsschutz</li> <li>— Urlaub im Kontext des Arbeits- und Gesundheitsschutzes</li> <li>— Arbeitsschutz in der Insolvenz des Arbeitgebers</li> <li>— Arbeitsschutz und Betriebliches Eingliederungsmanagement</li> <li>— Betriebliche Gesundheitsförderung und Betriebliches Gesundheitsmanagement besprochen.</li> </ul> <p data-bbox="1257 1850 1437 1875" style="text-align: right;"><i>Matthias Bundschuh</i></p>