

Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben

**„Erweiterte Auswertung der Deutschen Wirbelsäulenstudie mit dem
Ziel der Ableitung geeigneter Richtwerte“**

Kurztitel: „DWS-Richtwerteableitung“

gefördert von der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)

Dresden, November 2012

Autoren

Seidler, A.¹, Bergmann, A.², Bolm-Audorff, U.³, Ditchen, D.⁴, Ellegast, R.⁴, Euler, U.⁵, Haerting, J.², Haufe, E.¹, Jähnichen, S.¹, Jordan, C.⁶, Kersten, N.⁵, Kuss, O.², Lundershausen, N.⁴, Luttmann, A.⁶, Morfeld, P.⁷, Petereit-Haack, G.³, Schäfer, K.⁸, Voß, J.⁶, Jäger, M.⁶

¹ Institut und Poliklinik für Arbeits- und Sozialmedizin, Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus der TU Dresden, Fetscherstraße 74, 01307 Dresden

² Institut für Medizinische Epidemiologie, Biometrie und Informatik, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Magdeburger Straße 8, 06097 Halle (Saale)

³ Regierungspräsidium Darmstadt, Abteilung Arbeitsschutz und Umwelt, Dezernat Landesgewerbeamt, Simone-Veil-Straße 5, 65197 Wiesbaden

⁴ Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung - IFA, Fachbereich Arbeitsgestaltung - physikalische Einwirkungen, Referat Arbeitswissenschaft, Ergonomie, Alte Heerstraße 111, 53757 Sankt Augustin

⁵ Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Nöldnerstraße 40-42, 10317 Berlin

⁶ Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund, Ardeystraße 67, 44139 Dortmund

⁷ Institute for occupational Epidemiology and Risk Assessment (IERA), Evonik Services GmbH, Rellinghauser Straße 1-11, 45128 Essen

⁸ Berufsgenossenschaft Handel und Warenverteilung (BGHW), Direktion Mannheim, 68161 Mannheim

Inhaltsverzeichnis

1	Titel und Laufzeit des Vorhabens	7
2	Problemstellung	8
3	Forschungszweck/-ziel	10
4	Methodik.....	11
4.1	Projektteil I	16
4.1.1	Entscheidung für eine lineare oder quadratische Gewichtung der Druckkraft bei der Berechnung der kumulativen Dosis („lineares“ oder „quadratisches“ Dosismodell)	16
4.1.2	Auswahl eines geeigneten „Grundmodells“	17
4.1.2.1	Berechnung und Interpretation der AIC-Werte für die kontinuierlichen Dosiswerte der Modelle 4, 5 und 6 mit verschiedenen Verfahren	19
4.1.2.2	Entscheidung für ein Grundmodell.....	20
4.1.2.3	Entscheidung für den weiteren Umgang mit kontinuierlichen Variablen	20
4.1.2.4	Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung	21
4.1.2.5	Festlegung des Confoundersatzes („Grundconfounder“) für die Durchführung der Richtwerteableitung	23
4.1.3	Ermittlung der Bestmodelle auf der Grundlage der biomechanischen Abschätzung der Wirbelsäulenbelastungen für unterschiedliche Schwellenwert-Kombinationen	25
4.1.3.1	Biomechanische Abschätzung der schichtbezogenen Wirbelsäulenbelastungen für verschiedene Tagesdosismodelle	25
4.1.3.2	Berechnung der kumulativen Dosiswerte für die ermittelten Dosismodelle ..	26
4.1.3.3	Vergleich der ermittelten Dosismodelle und Ermittlung der Bestmodelle	27
4.1.3.4	Gleichzeitige Variation von Erhebungsschwellen nach Definition der am besten anpassenden Modelle je Fallgruppe und Ermittlung finaler Referenzmodelle mit Hilfe des („ersten“) Multi-Modell-Ansatzes	29
4.1.4	Ableitung eines Vorschlags zur Bestimmung des Lebensdosis-Richtwertes und weiterer Richtwerte (Druckkraft, Rumpfvorneigung, Tagesdosis).....	30

4.1.4.1	„Zweiter“ Multi-Modell-Ansatz	30
4.1.4.2	Ableitung von Verdopplungsdosen	31
4.2	Projektteil II	35
4.2.1	Entwicklung von Bestimmungsgleichungen	35
4.2.1.1	Konstante Druckkraftwerte	36
4.2.1.2	Individuelle Druckkraftwerte – Berechnungsformeln aus der Literatur	37
4.2.1.3	Individuelle Druckkraftwerte – Ableitung von Bestimmungsgleichungen	37
4.2.1.3.1	Datengrundlage	38
4.2.1.3.2	Erstellen von Regressionsgleichungen	41
4.2.1.3.3	Zusammenfassung von Belastungskombinationen	42
4.2.2	Validierung der auf Grundlage der Bestimmungsgleichungen ermittelten Expositionswerte	47
4.2.2.1	Festlegung der zu vergleichenden Tagesdosen	47
4.2.2.2	Statistische Verfahren	48
4.2.3	Analyse von Einzelbelastungen	48
5	Ergebnisse des Gesamtvorhabens	51
5.1	Projektteil I	51
5.1.1	Entscheidung für eine lineare oder quadratische Gewichtung der Druckkraft bei der Berechnung der kumulativen Dosis („lineares“ oder „quadratisches“ Dosismodell)	51
5.1.2	Auswahl eines geeigneten „Grundmodells“	54
5.1.2.1	Berechnung und Interpretation der AIC-Werte für die kontinuierlichen Dosiswerte der Modelle 4, 5 und 6 mit verschiedenen Verfahren	54
5.1.2.2	Entscheidung für ein Grundmodell	54
5.1.2.3	Entscheidung für den weiteren Umgang mit kontinuierlichen Variablen	57
5.1.2.4	Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung	57
5.1.3	Ermittlung der Bestmodelle auf der Grundlage der biomechanischen Abschätzung der Wirbelsäulenbelastungen für unterschiedliche Schwellenwert-Kombinationen	64

5.1.3.1	Biomechanische Abschätzung der schichtbezogenen Wirbelsäulenbelastungen für verschiedene Tagesdosismodelle	64
5.1.3.1.1	Modellgruppe 1: Variation von Tagesdosisschwellen	67
5.1.3.1.2	Modellgruppe 2: Variation von Druckkraftschwellen	69
5.1.3.1.3	Modellgruppe 3: Variation von Rumpfvorneigungsschwellen.....	71
5.1.3.1.4	Modellgruppe 4: Variation der Handhabungsarten.....	72
5.1.3.1.5	Modellgruppe 5: Vergleich von BSG-Modell und Grundmodell.....	73
5.1.3.1.6	Kombinationsmodelle: Zwei Arten der Druckkraft-Schätzung	75
5.1.3.2	Berechnung der kumulativen Dosiswerte für die ursprünglich festgelegten Dosismodelle sowie für weitere Dosismodelle.....	78
5.1.3.2.1	Modellgruppe 1: Variation von Tagesdosisschwellen	84
5.1.3.2.2	Modellgruppe 2: Variation von Druckkraftschwellen	86
5.1.3.2.3	Modellgruppe 3: Variation von Rumpfvorneigungsschwellen.....	88
5.1.3.2.4	Modellgruppe 4: Variation der Handhabungsarten.....	90
5.1.3.2.5	Modellgruppe 5: Vergleich von BSG-Modell und Grundmodell.....	90
5.1.3.2.6	Kombinationsmodelle: Zwei Arten der Druckkraft-Schätzung	91
5.1.3.3	Vergleich der ermittelten Dosismodelle und Ermittlung der Bestmodelle	93
5.1.3.4	Gleichzeitige Variation von Erhebungsschwellen nach Definition der Bestmodelle je Fallgruppe mit Hilfe des („ersten“) Multi-Modell-Ansatzes.....	96
5.1.3.4.1	Zusammenfassende Darstellung der in der DWS-Richtwertestudie eingesetzten Dosismodelle	108
5.1.4	Ableitung eines Vorschlags zur Bestimmung des Lebensdosis-Richtwertes und weiterer Richtwerte (Druckkraft, Rumpfvorneigung, Tagesdosis).....	110
5.1.4.1	„Zweiter“ Multi-Modell-Ansatz	110
5.1.4.2	Ableitung von Verdopplungsdosen	117
5.2	Projektteil II	118
5.2.1	Entwicklung von Bestimmungsgleichungen.....	118
5.2.2	Validierung der auf der Grundlage von Bestimmungsgleichungen ermittelten Expositionswerte	122

5.2.2.1	Basisformelsatz (Formel_45)	123
5.2.2.2	Reduzierter Formelsatz (Formel_22)	125
5.2.2.3	Finaler Formelsatz (Formel_11)	127
5.2.2.3.1	Ausreißeranalyse für den finalen Formelsatz	128
5.2.3	Analyse von Einzelbelastungen	130
6	Für das Vorhaben relevante Ergebnisse, Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen	147
7	Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Forschungszwecks/-ziels	148
7.1	Diskussion zu Projektteil I	148
7.1.1	Bewertung der Ergebnisse bei Variation einzelner Eigenschaften des Mainz-Dortmunder Dosismodells	149
7.1.2	Diskussion der Ergebnisse zur Verdopplungsdosis	156
7.1.3	Anpassungsgüte des „BSG-Modells“ und Bewertung der Ergebnisse vor dem Hintergrund des Berufskrankheitenrechts	163
7.1.4	Auswirkungen einer Erhöhung der Lebensdosisschwelle auf die Expositionsprävalenz, das bevölkerungsbezogene attributable Risiko und auf die Abschätzung des relativen Bandscheiben-Erkrankungsrisikos	168
7.2	Diskussion zu Projektteil 2	178
7.3	Methodenkritik	180
8	Schlussfolgerungen	185
9	Literatur	187
10	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	192
11	Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan	208
12	Kurzfassung (deutsch) für DGUV-Internetdatenbank	209
13	Kurzfassung (englisch)	211
14	Anhang	213

1 Titel und Laufzeit des Vorhabens

Titel des Vorhabens: „Erweiterte Auswertung der Deutschen Wirbelsäulenstudie mit dem Ziel der Ableitung geeigneter Richtwerte“

Laufzeit: 01.02.2009 – 30.11.2012

Forschungsverbund:

Forschungszentren:

1. Institut und Poliklinik für Arbeits- und Sozialmedizin der TU Dresden (Forschungsleitung) zusammen mit der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Berlin
2. Forschungsgesellschaft für Arbeitsphysiologie und Arbeitsschutz e. V., Dortmund (stellvertretende Forschungsleitung)
3. Institut für Medizinische Epidemiologie, Biometrie und Informatik, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
4. Evonik Industries, Essen, IERA

Kooperationspartner:

5. Regierungspräsidium Darmstadt, Abteilung Arbeitsschutz und Umwelt, Dezernat Landesgewerbearzt, Wiesbaden
6. IFA – Institut für Arbeitsschutz der DGUV, Sankt Augustin
7. BG Handel und Warendistribution, Mannheim

2 Problemstellung

Die veröffentlichten Ergebnisse der Deutschen Wirbelsäulenstudie (DWS; im Folgenden zur besseren Abgrenzbarkeit zum vorliegenden Projekt auch DWS1 genannt) lassen den Schluss zu, dass die Risiken für bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule (LWS) gemäß der Berufskrankheit (BK) Nr. 2108 besser als mit dem Mainz-Dortmunder Dosismodell (MDD) mit kumulativen Dosismodellen abgebildet werden, die durch abgesenkte Richtwerte („Schwellen“) bezüglich der Bandscheiben-Druckkraft bei Lastenhandhabungen und (gleichzeitig) der Rumpfvorneigung bei belastungsintensiven Körperhaltungen ohne Lastenhandhabung und (gleichzeitig) der schichtkumulierten Druckkraft (Tagesdosis) sowie durch die Einbeziehung von Lastenhandhabungsarten wie Ziehen oder Schieben gekennzeichnet sind.

Mit der Deutschen Wirbelsäulenstudie wurde eine Grundlage entwickelt, besser belastbare und differenziertere Aussagen über Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen beruflichen wirbelsäulenbelastenden Tätigkeiten und bandscheibenbedingten Wirbelsäulenerkrankungen zu erhalten, als sie in früheren Studien gewonnen werden konnten (Kranig, 2007). Das vorliegende Forschungsvorhaben knüpft an die Ergebnisse der Deutschen Wirbelsäulenstudie an mit dem Ziel, spezifischere Aussagen zu den für die Entstehung einer bandscheibenbedingten LWS-Erkrankung relevanten Belastungen treffen zu können und einer wissenschaftsbasierten Diskussion der Legaldefinition der BK 2108 BKV und der Ableitung geeigneter Richtwerte näher zu kommen.

Die Deutsche Wirbelsäulenstudie liefert starke Evidenz für eine positive Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Lastenhandhabungen bzw. Rumpfbeuge-/verdrehhaltungen und der klar operationalisierten Diagnose einer bandscheibenbedingten Erkrankung der Lendenwirbelsäule (Bolm-Audorff et al. 2007a,b, Seidler et al. 2007). Die bisherigen Auswertungen der DWS liefern für die vier in der DWS einbezogenen Fallgruppen (Prolaps/Chondrose bei Männern/Frauen) unterschiedliche „beste“ Dosismodelle. Dabei können die bisherigen Auswertungen der DWS keine Aussage zu Dosismodellen machen, die durch separate Veränderungen einzelner Eigenschaften des Mainz-Dortmunder Dosismodells (Hartung et al. 1999, Jäger et al. 1999) – bspw. des Richtwertes für die Bandscheiben-Druckkraft, d. h. der „Schwelle“, ab der bei Lastenhandhabungen Druckkräfte bei der Dosisberechnung berücksichtigt werden – bei Beibehaltung der übrigen Eigenschaften des MDD gekennzeichnet sind. Alle in den bisherigen Auswertungen der DWS zusätzlich zum MDD bewerteten Dosismodelle sind dadurch gekennzeichnet, dass sie auch Tätigkeiten außerhalb der rechtlich vorgegebenen Kriterien „Heben oder Tragen schwerer Lasten“ und „extreme Rumpfbeuge-

haltung“ berücksichtigen. Damit können gemäß dem Urteil des Bundessozialgerichts (BSG) vom 30.10.2007 (mit dem im Frühsommer 2008 veröffentlichten Begründungstext) die in der DWS untersuchten Modelle das MDD in seiner Funktion als Zusammenfassung des für eine Konkretisierung der bestehenden BK benötigten medizinischen Erfahrungswissens nicht unmittelbar ersetzen (Bundessozialgericht 2007). Nach Aussage des BSG steht derzeit „kein den Vorgaben der BK Nr. 2108 gerecht werdendes Alternativmodell zur Verfügung“. Dem BSG-Urteil zufolge erfordern die Weiterentwicklung des medizinischen Forschungsstandes und die dabei sichtbar gewordenen Mängel des MDD bei Männern folgende Modifikationen:

- eine Mindestdruckkraft pro Arbeitsvorgang von 2.700 Newton;
- den Verzicht auf eine Mindesttagesdosis;
- die Herabsetzung des unteren Grenzwertes auf die Hälfte der Gesamtbelastungsdosis von 25 MNh.

Es sei – so das Bundessozialgericht in seinem Urteil vom 30.10.2007 – unbefriedigend, aber der Begrenztheit richterlicher Erkenntnismöglichkeiten geschuldet, wenn als Grenzwert für das Vorliegen schädlicher Einwirkungen „ein möglicherweise zu niedrig bemessener Aufgangwert dienen“ müsse.

Tatsächlich ist aus den DWS-Ergebnissen die grundsätzliche Aussage ableitbar, dass auch unterhalb der Schwellenwerte des MDD Risiken für die Entstehung einer bandscheibenbedingten LWS-Erkrankung bestehen. Eine differenziertere Aussage zu den für die Entstehung einer bandscheibenbedingten LWS-Erkrankung relevanten Belastungen erscheint möglich, wenn die Schwellenwerte zunächst einzeln (und in einem weiteren Schritt kombiniert) variiert werden. Darüber hinaus ist es notwendig zu prüfen, ob ein auf diese Weise entwickeltes Dosismodell geeignet ist, die Risiken für bandscheibenbedingte Erkrankungen mit einfachen, im Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren einsetzbaren Bestimmungsgleichungen abzubilden.

3 Forschungszweck/-ziel

Die Relevanz des durchgeführten Projektes ergibt sich aus der Häufigkeit der Verdachtsanzeigen bezüglich des Vorliegens einer Berufskrankheit 2108: Auf der Grundlage der Verdachtsanzeigen stellt die BK 2108 nach der BK 5101 (Hauterkrankungen) und der BK 2301 (Lärmschwerhörigkeit) die dritthäufigste Berufskrankheit dar.

Aus den Ergebnissen der Deutschen Wirbelsäulenstudie ist die grundsätzliche Aussage ableitbar, dass auch unterhalb der Richtwerte des Mainz-Dortmunder Dosismodells (MDD) Risiken für die Entstehung einer bandscheibenbedingten LWS-Erkrankung bestehen. Bisher ist allerdings noch ungeklärt, welchen Einfluss die separate Absenkung oder Erhöhung einzelner Richtwerte für Rumpfvorneigung, Bandscheiben-Druckkraft oder Tagesdosis und die Einbeziehung weiterer Arten von Lastenhandhabungen – neben Heben oder Tragen schwerer Lasten z. B. Ziehen und Schieben von Lasten – auf die Anpassungsgüte der Dosismodelle haben. In den bisherigen Auswertungen der DWS wurden die Eigenschaften nicht separat, sondern in Kombination verändert. In dem vorliegenden Projekt sollen die einzelnen Eigenschaften separat variiert werden.

Das Projekt gliedert sich in zwei Teile, die im Wesentlichen parallel durchgeführt wurden: Im ersten Projektteil (Methodenkapitel 4.1, Ergebniskapitel 5.1.) werden die Einflussgrößen Tagesdosis, Druckkraft, Rumpfvorneigung sowie spezielle Lastenhandhabungsarten getrennt voneinander variiert. Es wird untersucht, welche Konstellation der genannten Einflussgrößen die Risiken für bandscheibenbedingte Erkrankungen am besten abbilden kann. Auf diese Weise soll die Grundlage für eine differenzierte Ableitung von Richtwerten gelegt werden. Im zweiten Projektteil (Methodenkapitel 4.2, Ergebniskapitel 5.2) wird der Frage nachgegangen, inwieweit sich die gefundenen am besten anpassenden Modelle mit möglichst einfachen Bestimmungsgleichungen zur retrospektiven Abschätzung der Bandscheiben-Druckkraft abbilden lassen. Damit wird eine wesentliche Grundlage für ein praxistaugliches Verfahren der Belastungsermittlung für die Nutzung in Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren geschaffen.

4 Methodik

Die vorliegende Forschungsarbeit (DWS-Richtwertestudie, DWS2) stellt eine vertiefende Reanalyse der Deutschen Wirbelsäulenstudie (DWS, vgl. Bolm-Audorff et al. 2007a und 2007b, Bergmann et al. 2007, Ellegast et al. 2007, Jäger et al. 2007, Linhardt et al. 2007, Michaelis et al. 2007, Petereit-Haak et al. 2007, Seidler et al. 2007) dar.

Im Rahmen der Deutschen Wirbelsäulenstudie (Bolm-Audorff et al. 2007a) – im Folgenden auch mit DWS1, im Gegensatz zur hier dargestellten DWS2, bezeichnet – war in einer multi-zentrischen populationsbezogenen Fall-Kontroll-Studie aus 915 Fällen mit lumbaler Erkrankung der Bandscheiben und 901 Kontrollprobanden die Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen beruflichen Wirbelsäulenbelastungen durch Lastenhandhabung und Rumpfbeugung sowie Bandscheibenerkrankungen der Lendenwirbelsäule untersucht worden. Die 915 Fallprobanden wurden folgenden vier Fallgruppen zugeordnet:

- 286 männliche Patienten (Fallgruppe 1) und 278 weibliche Patienten (Fallgruppe 2) mit stationärer oder ambulanter Behandlung in einer Klinik wegen LWS-Prolaps mit sensiblem und/oder motorischem Wurzelsyndrom.
- 145 männliche Patienten (Fallgruppe 3) und 206 weibliche Patienten (Fallgruppe 4) mit stationärer oder ambulanter Behandlung in einer Klinik oder ambulanter Behandlung in einer orthopädischen oder neurochirurgischen Praxis wegen einer fortgeschrittenen Chondrose mit Bandscheibenversmälnerung der LWS und Nachweis eines sensiblen und/oder motorischen Wurzelsyndroms oder eines lokalen Lumbalsyndroms (letzteres mit einem Finger-Boden-Abstand von mindestens 25 cm).

Die Diagnose bei den Fällen wurde 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. Fälle und Kontrollen mussten zum Zeitpunkt der Rekrutierung ein Alter zwischen 25 und 70 Jahren haben.

Die Responserate bei den Fällen lag bei 66,4 % und bei den Kontrollen bei 53,4 %. Die Non-responder-Analyse ergab, dass die Responserate sowohl bei Fällen als auch bei Kontrollen bei Probanden mit Dienstleistungsberufen (white-collar worker) höher war als bei Probanden mit Arbeiter- und Handwerkerberufen (blue-collar worker). Hinweise für einen differenziellen Fehler in der Response bei Fällen und Kontrollen in Abhängigkeit vom sozialen Status fanden sich somit nicht. Bei allen Fällen und Kontrollen wurde ein ca. anderthalb-stündiges

standardisiertes persönliches Interview durch geschulte Interviewer/innen zu beruflichen Wirbelsäulenbelastungen durch Lastenhandhabung, Rumpfbeugung und Ganzkörperschwingungen durchgeführt (Erstinterview). Ferner wurden Informationen u. a. zu Belastungen durch Hobby und Sport sowie Größe, Gewicht und Vorerkrankungen der Wirbelsäule erhoben. Bei 1.200 Probanden, die eine Mindestdosis beruflicher Wirbelsäulenbelastungen (die sogenannte „Auslösungsschwelle“) überschritten hatten, wurde später ein ca. zweistündiges semistandardisiertes umfassendes Experten-Interview durch Mitarbeiter der Technischen Aufsichtsdienste 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. Die Ergebnisse des TAD-Interviews wurden biomechanisch analysiert und die kumulative Belastung der Lendenwirbelsäule auf der Basis der Druckkraft auf die lumbosakrale Bandscheibe nach dem Mainz-Dortmunder Dosismodell (MDD, Hartung et al. 1999, Jäger et al. 1999) und neun weiteren Dosismodellen mit teilweise herabgesetzten Schwellenwerten für Rumpfvorneigung und Bandscheiben-Druckkraft 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) berechnet. Unter der kumulativen 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.

Die Berechnung von Dosiswerten bezüglich typischer Schichten sowie der Beschäftigungsabschnitte erfolgte getrennt für belastungsintensive Körperhaltungen und Lastenhandhabungen sowie summativ für beide Anteile. Für die Dosisberechnungen wurden verschiedene „Dosismodelle“ verwendet, bei denen neben der Bandscheiben-Druckkraft auch die Häufigkeit der Belastungsvorgänge sowie deren Dauer berücksichtigt wurden.

Zur quantitativen Beschreibung der kumulativen Wirbelsäulenbelastung wurden die im Folgenden erläuterten 10 verschiedenen Dosismodelle verwendet, die sich – ausgehend vom Mainz-Dortmunder Dosismodell (MDD) – insbesondere bezüglich der Erhebungsschwellen, der Wichtung von Druckkraft relativ zur Einwirkungsdauer/Auftretenshäufigkeit und der Verwendung einer Wurfelfunktion bei der Ermittlung der Tagesdosis unterscheiden (Abbildung 4-1).

Dosismodell		1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rumpfvorneigung		90°			20°	45°	75°	45°			
Druckkraft	m w	3,2 kN 2,5 kN			alle Werte	2,0 kN					
Tagesdosis	m w	5,5 kNh 3,5 kNh			alle Werte						
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	
* Druckkraftwerte F_i für Hebe- und Tragevorgänge i aus „MDD-Schätzgleichungen“ ansonsten: spezifische Berechnungen mit Simulationswerkzeug <i>Der Dortmunder</i> ** einschließlich Halten, Um-/Absetzen, Absenken, Schaufeln, Bewegen von Patienten m: männlich w: weiblich											

Abbildung 4-1: Übersicht zu den in der DWS1 verwendeten Dosismodellen zur Berechnung der Schichtdosis – Kriterien bei der quantitativen Beschreibung der kumulativen Wirbelsäulenbelastung je Arbeitsschicht mit Angabe zu „Erhebungsschwellen“ für Rumpfvorneigung, Bandscheiben-Druckkraft, Tagesdosis und Handhabungsart sowie zur Druckkraft-Wichtung relativ zur Belastungsdauer (nach Jäger et al. 2007)

Bei diesen zehn Modellen waren verschiedene Mindestwerte („Schwellen“) dahingehend vorgesehen, ob die jeweilige Belastung als relevant einzustufen und daher bei der Berechnung der Schichtdosis zu berücksichtigen ist; jeweils einheitlich wird die über das gesamte „Berufsleben“ kumulierte Dosis („Lebensdosis“) durch Multiplikation der Tagesdosis mit der betreffenden Schichtanzahl im Berufsleben berechnet.

Analog zum Mainz-Dortmunder Dosismodell betreffen diese „Erhebungsschwellen“ drei Variablen, die die im Merkblatt zur BK 2108 aufgeführten Begrifflichkeiten „Heben oder Tragen einer schweren Last“, „Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugehaltung“ sowie „Vorliegen von relevanten Belastungen in einer gewissen Häufigkeit und Dauer“ widerspiegeln:

- [a] die lumbosakrale Druckkraft, die sich aus tätigkeitsspezifischen Modellrechnungen mit Hilfe des Simulationssystems „Der Dortmunder“ (Jäger et al. 2000) oder mittels aus diesem abgeleiteten „Bestimmungsgleichungen“ (s. Kap. 4.2.1 und 5.2.1) ergibt,
- [b] die Vorneigung des Rumpfes in Relation zum aufrechten Stand,
- [c] die Tagesdosis, die sich aus der Summe der „Einzeldosen“ ergibt, die für jeden zu berücksichtigenden Vorgang aus Bandscheiben-Druckkraft und Vorgangsdauer berechnet wird.

Zusätzlich wurden zwei weitere Aspekte berücksichtigt:

- [d] Als relevant werden ausschließlich Hebe- und Tragevorgänge angesehen, wobei auch

das Halten von Lasten, Schaufeln von Schüttgütern oder auch das manuelle Bewegen von Patienten einbezogen werden. Im Gegensatz dazu werden in anderen Dosismodellen auch Vorgänge einbezogen, die als Ziehen oder Schieben, Fangen oder Werfen sowie als allgemeine Kraftaufwendungen bezeichnet werden können. Dieser Aspekt betrifft somit die Frage, ob der in der Definition der BK 2108 verwendete Begriff des Hebens oder Tragens von schweren Lasten näherungsweise als synonym mit Lastenhandhabungen angesehen werden kann oder ob sich die Belastungserfassung auf Hebe- und Tragetätigkeiten beschränkt.

- [e] In den Schicht-Dosismodellen werden verschiedene Wichtungen der Druckkraft relativ zur Einwirkungsdauer berücksichtigt, zudem wird teils die Summe der Einzeldosen bei der Tagesdosis-Ermittlung radiziert und teils nicht. Die Verwendung höherer Potenzen als 1 bei einem Kraft-Zeit-linearen Dosismodell, d. h. 2 bei einem quadratischen, 3 bei einem kubischen und 4 bei einem tetradischen Modell, betrifft somit die Frage, ob höheren Kräften ein höheres Schädigungspotential zugeschrieben wird oder werden muss als entsprechend längeren Vorgangsdauern. Im MDD wurde letztendlich eine quadratische Wichtung der Druckkraft vereinbart. Beispielsweise wäre bei einem linearen Dosismodell die Einwirkung einer Druckkraft von 10 kN über 1 Sekunde gleichzusetzen mit der Einwirkung von 1 kN über 10 Sekunden.

Darüber hinaus blieben vereinbarungsgemäß bei der Belastungserhebung durch die Technischen Aufsichtsdiensete solche Situationen unberücksichtigt,

- [A] bei denen Lasten bis zu etwa 5 kg gehandhabt wurden,
- [B] bei denen allenfalls Rumpfvorneigungen bis zu ca. 20° auftraten, wenn keine Lasten gehandhabt wurden, und
- [C] die sich auf kurze Beschäftigungsabschnitte von weniger als einem halben Jahr bezogen.

Detaillierte Erläuterungen zu den in Abbildung 4-1 aufgeführten Dosismodellen sind früheren Publikationen zu entnehmen (Bolm-Audorff et al. 2007a; Jäger et al. 2007). Beispielhaft sollen im Folgenden die Eigenschaften des Dosismodells 5 dargestellt werden. Gemäß Abbildung 4-1 werden in die Berechnung der kumulativen Lebensdosis einbezogen:

- alle Rumpfvorneigungen ohne Lastenhandhabung ab einem Winkel von 45° (Rumpfvorneigungsschwelle 45°) und
- alle Hebe- und Tragevorgänge, die mit einer Druckkraft von 2,0 kN oder mehr auf die unterste LWS-Bandscheibe verbunden sind (Druckkraftschwelle 2,0 kN),
- daneben auch entsprechende andere Lastenhandhabungen (z. B. Ziehen/Schieben,

Fangen/Werfen),

- alle genannten Expositionen unabhängig von der Überschreitung einer festgelegten Tagesdosis (Tagesdosischwelle 0 kNh);
- dabei wird zur Bildung der Tagesdosis die Wurzel aus der Summe der quadrierten Druckkräfte, multipliziert mit der jeweiligen Tätigkeitsdauer, gezogen.

Wesentlich für die Fragestellungen der DWS-Richtwertestudie ist der Aspekt, dass sich die Modelle in der Regel nicht nur in einem einzigen Kriterium unterscheiden, sondern in zwei oder mehr Kriterien, so dass differenzierte Aussagen zur Entstehung bandscheibenbedingter LWS-Erkrankungen durch andere Kriterien-Kombinationen als dem untersuchten Spektrum nicht möglich sind. Daher wurde für die DWS-Richtwertestudie vorgesehen, dass die Kriterien zunächst einzeln und danach eventuell kombiniert variiert werden.

In der epidemiologischen Auswertung der Deutschen Wirbelsäulenstudie wurden mit Hilfe der un konditionalen logistischen Regressionsanalyse Odds Ratios berechnet und für Alter und Studienzentrum sowie weitere Confounder adjustiert. Die Güte der Modellanpassung an den vorliegenden Datensatz bei Berechnung der beruflichen Gesamtdosis mit dem MDD und den übrigen Dosismodellen wurde mit Hilfe des Akaike Information Criterion (AIC) geprüft¹.

Als Ergebnis der Studie zeigt sich eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen der kumulativen beruflichen Wirbelsäulenbelastung durch Lastenhandhabung und Rumpfbeugung auf der einen Seite und der Entwicklung eines lumbalen Prolaps bzw. einer lumbalen Chondrose bei Männern und Frauen auf der anderen Seite. Die Dosismodelle der DWS1 mit der besten Modellanpassung zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Die Schwellenwerte für die Bandscheiben-Druckkraft bei Lastenhandhabung und für die Rumpfvorneigung sind im Vergleich zum MDD abgesenkt.
- Für die Tagesdosis wurde auf die Einführung eines Schwellenwertes verzichtet.
- Neben dem Heben und Tragen wurden zusätzliche Formen der Lastenhandhabung wie Ziehen, Schieben, Werfen oder Fangen von Lasten berücksichtigt.

Das für die Prüfung der arbeitstechnischen Voraussetzungen im Rahmen von Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren zur Berufskrankheit 2108 entwickelte MDD gehört bei den vier untersuchten Fallgruppen nicht zu den am besten anpassenden Dosismodellen hinsichtlich

¹ Das AIC stellt eine der Standardmethoden zur Modellselektion dar (Forster 2000, Agresti 2002) und wird von Agresti (2002) in seinem Standardwerk der Datenanalyse als das am besten bekannte Verfahren zur Modellselektion beschrieben. Dabei verhält sich der AIC-Wert indirekt proportional zur Modellgüte, d. h., mit abnehmendem AIC-Wert steigt die Güte der Modellanpassung.

der Beschreibung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Belastung und den hier ausgewählten Erkrankungen (Bolm-Audorff et al. 2007a).

Im folgenden Kapitel 4.1 wird zunächst die in der DWS-Richtwertestudie eingesetzte Methodik des Projektteils I dargestellt. Mit dem Methodenkapitel 4.1 korrespondiert das Ergebniskapitel 5.1: Zu jedem Unterkapitel des Kapitels 4.1 können die zugehörigen Ergebnisse im korrespondierenden Unterkapitel des Kapitels 5.1 gefunden werden. Die Korrespondenz zwischen Methoden- und Ergebniskapiteln findet sich auf der ersten Unterebene auch für das an das Kapitel 4.1 anschließende Kapitel 4.2. mit der Darstellung der Methodik des Projektteils II.

4.1 Projektteil I

4.1.1 Entscheidung für eine lineare oder quadratische Gewichtung der Druckkraft bei der Berechnung der kumulativen Dosis („lineares“ oder „quadratisches“ Dosismodell)

In den Dosismodellen der Deutschen Wirbelsäulenstudie wurden verschiedene Wichtungen der Druckkraft relativ zur Einwirkungsdauer berücksichtigt (vgl. Abbildung 4-1), zudem wurde für die Tagesdosis-Ermittlung teilweise die Wurzel aus der Summe der Einzeldosen gezogen und teilweise nicht. Die Verwendung höherer Potenzen als 1 bei einem Kraft-Zeit-linearen Dosismodell, d. h., 2 bei einem quadratischen, 3 bei einem kubischen und 4 bei einem tetradischen Modell betrifft somit die Frage, ob höheren Kräften ein höheres Schädigungspotenzial zugeschrieben wird oder werden sollte als entsprechend längeren Vorgangsdauern.

Die Entscheidung für die lineare oder quadratische Gewichtung der Druckkraft (vergl. Dosismodelle 1 bis 10 in Abbildung 4-1) bei der Berechnung der kumulativen Dosiswerte in der DWS-Richtwertestudie („lineares“ oder „quadratisches“ Dosismodell) wurde aus dem Vergleich der Anpassungsgüte des Dosismodells 7 (lineares Modell) mit dem Dosismodell 5 (quadratisches Modell) abgeleitet. Abgesehen von der Gewichtung der Druckkraft (linear vs. quadratisch, vgl. Abbildung 4-1) sind die weiteren Eigenschaften dieser beiden Dosismodelle identisch (Schwelle von 45° für Rumpfvorneigung ohne Last, Schwelle von 2,0 kN Bandscheiben-Druckkraft für Männer und Frauen, Einbezug von Tätigkeiten wie Ziehen oder Schieben von Lasten usw. zusätzlich zum Heben oder Tragen).

Die Berechnung der AIC-Werte (Akaike Information-Criterion) für die Gesamtdosis-Werte dieser beiden Dosismodelle erfolgte mit Adjustierung für die im DWS-Endbericht beschriebe-

nen „Basisconfounder“ (bei Männern: Body-Mass-Index, Ganzkörperschwingungen, Morbus Scheuermann, Gicht; bei Frauen: Ganzkörperschwingungen).

Eine klare Entscheidung für ein quadratisches Gewichtungsverfahren setzte gemäß a priori festgelegter Kriterien voraus, dass der AIC-Wert für das Dosismodell 5 mindestens für drei der vier Fallgruppen unter Berücksichtigung der statistischen Variabilität (siehe S. 136ff. DWS-Abschlussbericht, Bolm-Audorff et al. 2007a) niedriger liegt als der AIC-Wert für das Dosismodell 7 und dass der AIC-Wert für das Dosismodell 7 für keine der vier Fallgruppen niedriger liegt als der AIC-Wert für das Dosismodell 5.

Eine klare Entscheidung für ein lineares Gewichtungsverfahren verlangte dagegen, dass der AIC-Wert für das Dosismodell 7 mindestens für drei der vier Fallgruppen unter Berücksichtigung der statistischen Variabilität niedriger liegt als der AIC-Wert für das Dosismodell 5 und dass der AIC-Wert für das Dosismodell 5 für keine der vier Fallgruppen niedriger liegt als der AIC-Wert für das Dosismodell 7.

4.1.2 Auswahl eines geeigneten „Grundmodells“

Im vorliegenden Forschungsvorhaben sollte als „Grundmodell“ ein Dosismodell ausgewählt werden, das in mehreren Fallgruppen eine gute oder sogar die beste Modellanpassung erreicht hat. Als wichtiges Kriterium für die Wahl des Grundmodells wurde die Anpassungsgüte von Modellen (AIC-Kriterium) gewertet, die auf den kontinuierlichen Variablen basieren. Grundsätzlich kamen als Grundmodell diejenigen Dosismodelle infrage, die laut DWS-Abschlussbericht in mindestens einer Fallgruppe zu den am besten anpassenden Dosismodellen zählen und gleichzeitig auf der Grundlage der in der DWS1 angewandten Kriterien

- möglichst einheitliche Dosismodelle bei Männern und Frauen,
- Monotonie der Dosis-Wirkungs-Beziehung,
- Einfachheit des Dosismodells und
- Spezifität

Vorteile im Vergleich zu den anderen am besten anpassenden Dosismodellen aufweisen.

Es handelt sich um folgende Dosismodelle:

Dosismodell 4: MDD² ohne Druckkraft- und Tagesdosis- sowie mit niedriger Rumpfvorneige-Schwelle, d. h.,

- Druckkraft-Wichtung wie im MDD³,

² Siehe Hartung et al. 1999, Jäger et al. 1999

- Einbezug aller Lastenhandhabungen ab einem Lastgewicht von 5 kg,
- Schwelle von 20° für Rumpfvorneigung ohne Last (anstatt 90° im MDD),
- Einbezug von Tätigkeiten wie Ziehen oder Schieben von Lasten etc. zusätzlich zum Heben oder Tragen.

Dosismodell 5: MDD ohne Tagesdosisschwelle, jedoch mit deutlich abgesenkter Rumpfvorneige- und deutlich abgesenkter Druckkraftschwelle, d. h.,

- Druckkraft-Wichtung wie im MDD,
- Schwelle von 45° für Rumpfvorneigung ohne Last (anstatt 90°),
- Schwelle von 2,0 kN Bandscheiben-Druckkraft (anstatt 3,2 oder 2,5 kN für Männer bzw. Frauen),
- Einbezug von Tätigkeiten wie Ziehen oder Schieben von Lasten etc. zusätzlich zum Heben oder Tragen.

Dosismodell 6: MDD ohne Tagesdosisschwelle, jedoch mit weniger deutlich abgesenkter Rumpfvorneige- und deutlich abgesenkter Druckkraftschwelle, d. h.,

- Druckkraft-Wichtung wie im MDD,
- Schwelle von 75° für Rumpfvorneigung ohne Last (anstatt 90°),
- Schwelle von 2,0 kN Bandscheiben-Druckkraft (anstatt 3,2 oder 2,5 kN für Männer bzw. Frauen),
- Einbezug von Tätigkeiten wie Ziehen oder Schieben von Lasten etc. zusätzlich zum Heben oder Tragen.

Dosismodell 10: siehe Dosismodell 5; abweichend davon wird bei der Berechnung der Tagesdosis keine Wurzel gezogen (s. Abb. 4-1).

Zur Erläuterung wird angemerkt, dass der Ansatz nach Dosismodell 10 geprüft, aber letztendlich verworfen wurde: Abweichend von den anderen in der DWS1 angewendeten Dosismodellen mit quadratischer Kraftwichtung wird die Wurzel nicht über die Schichtdosiswerte gezogen. Damit sollte der kritisch angemerkten Implausibilität insbesondere des MDD (unterschiedliche Bewertung gleicher kumulativer Belastungen in Abhängigkeit von der Verteilung auf verschiedene Tage; s. Seidler et al. 2001) vorgebeugt werden. Diese veränderte Vorgehensweise ist begründbar, aber wissenschaftlich nicht zwingend. Gelöst würde damit zwar ein bekanntes Problem, allerdings würden neue Probleme geschaffen: zum Beispiel weisen die Ergebnisse eine andere physikalische Einheit auf, und die Zahlenwerte liegen in

³ Aufgrund des vermuteten höheren Schädigungspotenzials hoher Kräfte wird bei der Berechnung der Tagesdosis die bei einem Belastungsvorgang auftretende Bandscheiben-Druckkraft in der 2. Potenz („quadratisch“) und die Vorgangsdauer in der 1. Potenz („linear“) berücksichtigt

einer anderen Größenordnung, so dass die mit Dosismodell 10 oder Derivaten (Wurzelziehung über kumulierte Lebensdosiswerte anstatt über Schichtdosiswerte) berechneten Werte nicht mit früheren Expositionsbewertungen verglichen werden können. Daher wurde auf Basis entsprechender Datenauswertungen beschlossen, in der DWS-Richtwertestudie die Wurzel weiterhin über die Schichtdosiswerte (und nicht über die Lebensdosis) zu ziehen.

4.1.2.1 Berechnung und Interpretation der AIC-Werte für die kontinuierlichen Dosiswerte der Modelle 4, 5 und 6 mit verschiedenen Verfahren

Für die oben genannten drei Dosismodelle 4, 5 und 6 (als kontinuierliche Variable) wurde die Anpassungsgüte gemäß AIC getrennt für die vier Fallgruppen mit den im Folgenden beschriebenen drei Methoden berechnet:

1. Einbezug der kontinuierlichen und der quadrierten kontinuierlichen und der kubischen kontinuierlichen Dosis als drei Variable (Polynom 3. Grades) in das logistische Regressionsmodell;
2. lokale Regressionsanalyse (LOESS-Smoothing)⁴ für die jeweilige Dosis;
3. Einsatz fraktionaler Polynome⁵ 2. Grades^{6 7}

⁴ In den Modellen, in denen auch die funktionale Form der Dosiswerte mit geschätzt wird, wird die Methode der lokalen Regression (LOWESS oder LOESS-Smoothing, Cleveland und Devlin 1988) verwendet. Dabei wird jeweils nur die funktionale Form der Dosiswerte nicht-parametrisch geschätzt, alle anderen Parameter gehen nach wie vor linear ins Modell ein. Um einen maximal möglichen Datenbezug zu erreichen, wird der Glattheits-Parameter der Dosiswert-Funktion in diesen Modellen nicht vorgegeben, sondern mit Hilfe des GCV-Kriteriums (generalized cross validation) bestimmt. Die Analyse der Modelle erfolgt mit der SAS-Prozedur PROC GAM (generalized additive models).

Besonders attraktiv ist diese Methode dadurch, dass sie streng likelihood-basiert ist. Das heißt, es ist möglich, die Werte der LogLikelihood-Funktion von linearen, quadratischen und LOWESS-Modellen (zumindest approximativ) mit Hilfe von Likelihood-Ratio-Tests zu vergleichen. Die Anzahl der Freiheitsgrade, die für die Schätzung des LOWESS-Smoother benötigt werden, werden dabei ebenfalls aus den Daten geschätzt, insofern können auch AIC-Werte aus allen Modellen berechnet und verglichen werden.

⁵ Unter einem natürlichen Polynom versteht man eine Summe von Vielfachen von Potenzen mit natürlichzahligen Exponenten einer Variablen. Ein natürliches Polynom 2. Grades hat beispielsweise die Form

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2$$

Demgegenüber haben fraktionale Polynome nicht nur ganze Zahlen und nicht nur positive Zahlen als Exponenten: so können fraktionale Polynome etwa auch den Exponenten „-0,5“ aufweisen. Im Folgenden werden einige typische Beispiele für fraktionale Polynome 2. Grades dargestellt:

$$FP(-1;0) = a_0 + a_1 \cdot x^{-1} + a_2 \cdot \ln(x)$$

$$FP(1;1) = a_0 + a_1 \cdot x^1 + a_2 \cdot x^1 \cdot \ln(x)$$

$$FP(-2;0,5) = a_0 + a_1 \cdot x^{-2} + a_2 \cdot x^{0,5}$$

$$FP(-0,5;2) = a_0 + a_1 \cdot x^{-0,5} + a_2 \cdot x^2$$

Für jedes Dosismodell wurden also zwölf AIC-Werte berechnet (jeweils Methode 1, 2 und 3 für jede der vier Fallgruppen).

4.1.2.2 Entscheidung für ein Grundmodell

Der Entscheidung für ein „Grundmodell“ wurden folgende Kriterien zugrunde gelegt:

- Zahl der niedrigsten AIC-Werte im Vergleich der drei Dosismodelle
- Höhe der AIC-Unterschiede zwischen den einzelnen Dosismodellen
- Möglichst „mittlere“ Schwellen (Variationsmöglichkeit nach oben und unten)

4.1.2.3 Entscheidung für den weiteren Umgang mit kontinuierlichen Variablen

In der Deutschen Wirbelsäulenstudie wurden kategorisierte Analysen durchgeführt, d. h., es wurden alle individuellen Lebensdosiswerte einer Kategorie für identisch erklärt und dadurch z. B. benachbarte Randwerte als relativ weit voneinander entfernt angesetzt und so bezüglich der Dosis-Wirkungs-Beziehung analysiert. Diese Kategorisierung kann zu Informationsverlust, potenziellen Verzerrungen und Power-Einbußen führen. Andererseits hat diese Methode auch entscheidende Vorteile, da sie z. B. die Auswirkung von Ausreißern durch deren Einordnung in die jeweils unterste oder oberste Kategorie glättet. Dies kann im vorliegenden Fall bei der Modellierung der Dosis-Wirkungs-Beziehung durchaus von Bedeutung sein.

Demgegenüber bieten kontinuierliche Analysen den Vorteil, die in den Daten liegende Information bestmöglich auszuschöpfen (siehe die Diskussion in Royston et al. 2006). Dieser Weg wurde bei der Auswertung der Daten der DWS-Richtwertestudie weiterverfolgt.

Die kontinuierliche Analyse umfasste neben der Verwendung von Polynomen 3. Grades in der Logit-Regression und einer lokalen Regressionsanalyse mit LOESS-Glättung als weiteres Verfahren Regressionsanalysen unter Verwendung fraktionaler Polynome. Diese bieten den Vorteil, Veränderungen in den Daten – je nach Polynomgrad – besonders gut anpassen

⁶ Vgl. Royston P, Ambler G, Sauerbrei W. The use of fractional polynomials to model continuous risk variables in epidemiology. *Int J Epidemiol* 1999;28:964-74.

⁷ Im Sinne einer Sensitivitätsanalyse wurden zusätzlich fraktionale Polynome bis zum 6. Grad berechnet. Mit Hilfe der AIC-Statistiken sollte festgestellt werden, ob sich mit fraktionalem Polynom höheren Grades eine bessere Anpassung erzielen lässt. Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse gingen in die im Kap. 4.1.3.3 dargestellte Diskussion der Vor- und Nachteile fraktionaler Polynome 4. Grades ein.

zu können. Neben den zunächst präferierten fraktionalen Polynomen 2. Grades kamen daher auch fraktionale Polynome höheren, insbesondere 4. Grades zum Einsatz.

4.1.2.4 Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung

Zunächst wurde eine Sensitivitätsanalyse zur Überprüfung des in der DWS-Richtwertestudie angewandten Verfahrens der Schwellenwertprüfung durchgeführt. Im Folgenden soll zunächst die Problemstellung skizziert werden, die dieser Sensitivitätsanalyse zugrunde liegt; anschließend werden die einzelnen Arbeitsschritte der Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung dargestellt (für die resultierenden Ergebnisse wird auf das korrespondierende Ergebniskapitel 5.1.2.4 verwiesen).

In der Deutschen Wirbelsäulenstudie (DWS) ebenso wie im aktuell durchgeführten Folgeprojekt (DWS-Richtwertestudie) wird als quantitative Kenngröße der kumulativen Wirbelsäulenbelastung des Berufslebens eine „berufliche Gesamtdosis“ aller körperlichen Belastungen durch Lastenhandhabung sowie Körperhaltungen mit Rumpfbeugung und -verdrehung berechnet. Je nach Dosismodell werden dabei alle körperlichen Belastungen ab definierten Schwellenwerten

[a] für die Druckkraft an der untersten Bandscheibe der Lendenwirbelsäule,

[b] für den Rumpfvorneigungswinkel und

[c] für die Tagesdosis

mit dem absoluten Wert einbezogen; Belastungen unterhalb der jeweiligen Schwelle bleiben bei der Dosisberechnung unberücksichtigt, d. h., die entsprechenden Druckkraft- bzw. Tagesdosiswerte werden „auf Null gesetzt“.

So finden beispielsweise im Dosismodell 5 der DWS Lastenhandhabungen, die mit einer Druckkraft von unter 2,0 kN verbunden sind, bei der Berechnung der Tages- und der Gesamtdosis keine Berücksichtigung. Dies ist gleichbedeutend damit, alle Handhabungen von Lasten (Gewicht bis etwa 5 kg), die mit einer Druckkraft von unter 2,0 kN verbunden sind, auf Null zu setzen. Druckkraftwerte ab der jeweiligen Schwelle (z. B. eine Druckkraft von 2,1 kN) gehen mit ihrem „absoluten“ Wert (von 2,1 kN im Beispiel) in die Berechnung der Dosis ein; dies bedeutet, dass die dosisrelevante Druckkraft einer „Vollwert-Berücksichtigung“ entspricht.

Durch diesen Umgang mit Belastungen unterhalb der jeweiligen Schwellen könnten die Daten der x-Achse jedoch „auseinandergerissen“ werden und damit Dosismodelle mit relativ hohen Schwellenwerten bei der Identifizierung der „Bestmodelle“, mit denen die zu prüfende

Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen beruflicher Gesamtdosis und Erkrankungsrisiko bestmöglich mathematisch beschrieben werden sollen, benachteiligt werden. Deshalb wurde ein Ansatz entwickelt, bei dem in Anlehnung an Ulm (1991) zum Beispiel jeweils nur die Differenz zwischen berechneter Druckkraft und Schwellen-Druckkraft in die Bildung der Dosis eingeht (dosisrelevanter Druckkraft-Anteil: „Schwellenwert-Überschreitung“; in obigem Beispiel also 0,1 kN - aus 2,1 kN absolute Druckkraft minus 2,0 kN Schwellenwert); dieser Ansatz wurde in Teil A der Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung bearbeitet.

Würden bei der Umsetzung des Teils A der Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung „auf“ der jeweiligen Schwelle liegende Dosiswerte mit einem Nullwert verbunden, so würden diese Dosiswerte nicht in die Berechnung der Lebensdosis eingehen. Das hätte zur Folge, dass bei Einsatz des MDD Rumpfbeugehaltungen im Teil A nicht in die Berechnung der Lebensdosis eingehen würden: denn der diesbezügliche Schwellenwert liegt genau beim Schwellenwert von 1,7 kN (entsprechend der Druckkraft bei einem Rumpfbeugewinkel von 90°). Da eine Vernachlässigung von extremen Rumpfbeugehaltungen bei der Dosisberechnung dem „Grundgedanken“ des MDD widerspricht, wurde ein Verfahren entwickelt, das „genau“ auf der Druckkraftschwelle liegenden Belastungen einen Druckkraft-Wert von 0,1 kN („kleinste sinnvolle Beobachtungseinheit“) zumisst: In Teil A der Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung ging somit für alle Druckkraftwerte, die gleich groß oder größer als der jeweilige Druckkraftschwellenwert sind, die Differenz zwischen der tatsächlichen Druckkraft und dem um 0,1 kN reduzierten Druckkraftschwellenwert in die Berechnung der Gesamtdosis ein.

Zur Erläuterung:

Beispielsweise gingen für das MDD Rumpfbeugungen mit einem Neigungswinkel von 90° (tatsächliche Druckkraft: 1,7 kN) mit 0,1 kN ($1,7 \text{ kN} - (1,7 \text{ kN} - 0,1 \text{ kN})$) in die Berechnung der Gesamtdosis ein. Bei einem männlichen Probanden würde eine Lastenhandhabung von 4,0 kN gemäß MDD (Schwellenwert: 3,2 kN) mit 0,9 kN ($4,0 \text{ kN} - (3,2 \text{ kN} - 0,1 \text{ kN})$) in die Berechnung der Gesamtdosis eingehen. Entsprechend würde bei einem Probanden eine Lastenhandhabung von 4,0 kN gemäß Dosismodell 5 (Schwellenwert: 2,0 kN) mit 2,1 kN ($4,0 \text{ kN} - (2,0 \text{ kN} - 0,1 \text{ kN})$) in die Berechnung der Gesamtdosis eingehen.

Durch den ursprünglichen Umgang mit Schwellenwerten in der DWS (wie auch in der DWS-Richtwertestudie) könnten außerdem auch die Dosiswerte Nicht-Belasteter und „Marginal-Belasteter“ auseinandergerissen werden. Dies lässt sich dadurch vermeiden, dass jeweils nur die Differenz zwischen berechneter Druckkraft und der „Basis“-Druckkraft beim Stehen ohne Last in die Bildung der Gesamtdosis eingeht (dosisrelevanter Druckkraft-Anteil: „Basiswert-Abzug“); dieser Ansatz wurde in Teil B der Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung

bearbeitet. Von dem beschriebenen Abzug der „Basis“-Druckkraft im Stehen abgesehen verfolgt Teil B den gleichen Umgang mit Schwellen wie die DWS1 (und wie die DWS-Richtwertestudie in ihrem verabschiedeten Auswertungskonzept). Im Teil A stellt sich die Frage des Umgangs mit der „Basis“-Druckkraft im Stehen nicht, da in Teil A bei der Berechnung der kumulierten Tagesdosis nur die Differenzen zwischen tatsächlichen Druckkräften und – grundsätzlich über der Druckkraft im Stehen liegenden – Druckkraftschwellen betrachtet werden.

Eine Kombination von Teil A und Teil B erschien sinnvoll, weil damit die Ergebnisse der veränderten Schwellenwertprüfung (Teil A) mit den Ergebnissen der ursprünglich vorgesehenen Schwellenwertprüfung (unter Berücksichtigung der in Teil B vorgenommenen Modifikationen) verglichen werden konnten. Aus diesem Vergleich wurde Aufschluss über das grundsätzlich besser geeignete Konzept der Schwellenwertprüfung erwartet. Eine sinnvolle Umsetzung von Teil A und B der Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung machte eine Anpassung der Tagesdosissschwellen des MDD-Verfahrens erforderlich: Wären die Tagesdosissschwellen des MDD-Verfahrens unverändert auf die Teile A und B der Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung übertragen worden, so hätten nur vergleichsweise wenige bzw. – bezüglich Teil A – sehr wenige Probanden diese Schwellen überschreiten können. Daher wurden Anpassungen zur Ermittlung von modifizierten Tagesdosissschwellen vorgenommen, die dem "MDD-Grundgedanken" einer weitgehend empirischen Ableitung aller Schwellenwerte möglichst gut Rechnung tragen sollten.

Zum weiteren Umgang mit den Ergebnissen der Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung wurde a priori Folgendes festgelegt: Sollte das veränderte Konzept der Schwellenwertprüfung (Teil A) eine bessere Anpassungsgüte ergeben als das ursprünglich vorgesehene Konzept der Schwellenwertprüfung (unter Berücksichtigung der im Teil B vorgenommen Modifikationen), dann sollte im weiteren Verlauf der DWS-Richtwertestudie das im Teil A entwickelte Verfahren der Schwellenwertprüfung eingesetzt werden.

4.1.2.5 Festlegung des Confoundersatzes („Grundconfounder“) für die Durchführung der Richtwerteableitung

In der Deutschen Wirbelsäulenstudie wurden zunächst aus einer Liste inhaltlich plausibler potenzieller Confounder alle Variablen in das logistische Modell aufgenommen („Basisconfounder“: bei Männern: Body-Mass-Index, Ganzkörperschwingungen, Morbus Scheuermann, Gicht; bei Frauen: Ganzkörperschwingungen), die eine Assoziation mit den Lebensdosiswerten gemäß Dosismodell 1 (MDD) oder 4 aufwiesen (für weitere Ausführungen siehe Bolm-

Audorff et al. 2007a: DWS-Abschlussbericht, S. 134f.). Die entsprechenden Basisconfounder wurden in der DWS1 bei der Berechnung der Anpassungsgüte mittels AIC-Werten in die logistischen Regressionsmodelle einbezogen. Anschließend wurde für die (in der DWS1) „besten“ Dosismodelle mittels „Change-in-estimate“-Kriterium über den Verbleib der Basisconfounder in den finalen Modellen entschieden. Da kein Basisconfounder einen nennenswerten Einfluss auf die Höhe der Effektschätzer (ausgedrückt durch die Odds Ratios) aufwies, wurde auch kein Basisconfounder in die „finalen“ Modelle der DWS1 aufgenommen. Somit ergab sich auch kein inhaltlich zwingender Grund dafür, Variablen aus dem Satz der Basisconfounder im Rahmen der DWS-Richtwertestudie als zusätzlichen Confounder zu berücksichtigen.

In der DWS1 wurden anschließend getrennt für die einzelnen Fallgruppen diejenigen Variablen aus einer a priori festgelegten Liste (siehe DWS-Abschlussbericht S. 141) als „finale Confounder“ in die logistischen Regressionsmodelle aufgenommen, die eine Veränderung der Odds Ratios in mindestens einer Belastungskategorie (= Dosisklasse) 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 lässt sich eine Beeinflussung der genannten beiden „finalen Confounder“ der DWS1 durch Frühstadien von Bandscheibenerkrankungen (z. B. chronische Rückenbeschwerden) nicht ausschließen; damit würde faktisch für die Folgen von intermediären (heißt: auf dem Kausalpfad zwischen körperlichen Belastungen und Bandscheibenerkrankungen liegenden) Faktoren adjustiert. Daraus würde eine Überadjustierung resultieren. Um die genannte Gefahr einer Überadjustierung zu vermeiden, wurde bei der Ermittlung der Bestmodelle auf eine Adjustierung für die genannten beiden „finalen Confounder“ „Belastung durch Verlust des Arbeitsplatzes/Kündigung“ und „psychosoziale Belastungen am Arbeitsplatz“ der DWS1 verzichtet. Hinzuweisen ist darauf, dass der Verzicht auf weitere Confounder (über die „Grundconfounder“ Alter und Studienzentrum hinaus) eine größere Stabilität der Modellierung erwarten lässt.

Somit wurden im weiteren Verlauf der DWS-Richtwertestudie grundsätzlich Alter (als kategorisierte Variable) und Studienzentrum als Confounder in die logistischen Regressionsmodelle aufgenommen. Alter und Studienzentrum werden im Folgenden als „Grundconfounder“ bezeichnet.

4.1.3 Ermittlung der Bestmodelle auf der Grundlage der biomechanischen Abschätzung der Wirbelsäulenbelastungen für unterschiedliche Schwellenwert-Kombinationen

4.1.3.1 Biomechanische Abschätzung der schichtbezogenen Wirbelsäulenbelastungen für verschiedene Tagesdosismodelle

Ausgehend von dem ermittelten „Grundmodell“ wurden die einzelnen Eigenschaften des Grundmodells zunächst getrennt voneinander variiert (zum Verfahren der Ermittlung des Grundmodells siehe Kap. 4.1.2, zum resultierenden Grundmodell bei Einsatz dieses Verfahrens siehe Kap. 5.1.2). Beispielhaft soll dieses Vorgehen anhand eines „Grundmodells“ (des Dosismodells 5 der DWS1) illustriert werden, das keine Tagesdosisschwelle (0 kNh) aufweist, 2,0 kN als Bandscheiben-Druckkraftschwelle verwendet, bei dem die Rumpfvorneigungsschwelle 45° beträgt und bei dem neben Heben und Tragen weitere Lastenhandhabungsarten (Ziehen/Schieben und entsprechendes) einbezogen werden (siehe Abb. 4.1.3-1). Ausgehend von diesem Grundmodell wurden – zunächst getrennt voneinander – die Tagesdosisschwelle schrittweise bis 10,0 kNh erhöht, anschließend (wiederum ausgehend von den übrigen Eigenschaften des Grundmodells) die Druckkraftschwelle schrittweise bis 3 ¼ kN erhöht und dann (wiederum ausgehend von den übrigen Eigenschaften des Grundmodells) die Rumpfvorneigungsschwelle auf 20° gesenkt und anschließend schrittweise bis 90° erhöht (unter Einbezug aller in der DWS1 verwendeten Schwellen). Als weitere Variationen des Grundmodells wurde vorgesehen, die Einzelbelastungen durch Ziehen/Schieben und weitere Handhabungsarten bei der Schichtdosis-Kumulation unberücksichtigt zu lassen sowie das sogenannte BSG-Modell⁸ mit den im oben erwähnten Urteil genannten Schwellen anzuwenden. Insgesamt ergaben sich dadurch zunächst 18 „verschiedene Dosismodelle“ (Abbildung 4.1.3-1). Für jedes dieser 18 Dosismodelle wurden auf der Grundlage des „Dortmunders“ die Tagesdosiswerte aller Fälle und Kontrollpersonen entsprechend dem in der DWS1 angewandten Verfahren ermittelt.

⁸ Tatsächlich handelt es sich bei dem von uns als BSG-Modell bezeichneten Dosismodell nicht um ein eigenständiges Dosismodell im engeren Sinne, sondern um eine Modifikation des MDD mit Absenkung der Tagesdosisschwelle von 3,2 auf 2,7 kN bei Männern, einem Verzicht auf eine Tagesdosisschwelle und einer Halbierung des Lebensdosiswertes auf 12,5 MNh bei Männern. Entsprechend dem Projektantrag wird in der Folge vereinfachend vom „BSG-Modell“ gesprochen; dabei sind die vorhergehenden Anmerkungen zu berücksichtigen.

	Grundmodell und (getrennt voneinander variierte) alternative Schwellenwerte								„BSG-Modell“
Tagesdosis [kNh]	<u>0</u>	2	3	4	5	6	8	10	0
Druckkraft [kN]	<u>2</u>	2¼	2½	2¾	3	3¼			2,7 (für Männer)
Rumpfvorneigung [°]	20	<u>45</u>	75	90					
Ziehen/Schieben u. a.	ohne	<u>mit</u>							ohne

Abbildung 4.1.3-1: Prinzip der separat zu variierenden Eigenschaften* der in der DWS-Richtwertestudie zunächst zu verwendenden 18 Dosismodelle zur Berechnung der Schichtdosis, ausgehend von den durch Fettdruck und Unterstreichen hervorgehobenen Eigenschaften des letztendlich gewählten „Grundmodells“, das Dosismodell 5 der DWS1 entspricht (aus Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben)

* variiert wird zunächst immer nur eine Eigenschaft; bspw. wird die Tagesdosis von 0 (beim beispielhaft verwendeten Grundmodell) auf 2, dann auf 3, dann auf 4, dann auf 5 kNh usw. gesetzt, wobei die übrigen Eigenschaften des Modells unverändert die des Grundmodells bleiben: Druckkraftschwelle von 2kN, Rumpfvorneigungsschwelle von 45°, Einbeziehung von Expositionen gegenüber Ziehen/Schieben u. a. (Druckkraft-Wichtung wie im MDD)

Anmerkung zum Begriff „verschiedene Dosismodelle“

Zur inhaltlichen Präzisierung und zur Vermeidung von Missverständnissen wird angemerkt, dass die genannten 18 Modelle auch als ein einziges Dosismodell bezeichnet werden könnten, bei dem die Eigenschaften bzw. Erhebungsschwellen variiert werden – analog zum Mainz-Dortmunder Dosismodell, das beispielsweise einheitlich die Bandscheiben-Druckkraft als einen Indikator der Körper-internen Belastung, die Vorgangsdauer und -häufigkeit sowie eine quadratische Kraft-zu-Zeit-Wichtung vorsieht, aber bei dem für Männer und Frauen verschiedene Schwellenwerte für Druckkraft und Tagesdosis empfohlen werden. In Übertragung auf die Gegebenheiten in der DWS2 entspräche das MDD einem „Grundmodell“ und die geschlechtsspezifischen MDD-Mindestwerte den Kriteriums-variationen. Trotz dieser eventuellen Vorbehalte und nicht eindeutigen Begrifflichkeit werden die verschiedenen Ausprägungen des Grundmodells im Folgenden als „verschiedene Dosismodelle“ bezeichnet.

4.1.3.2 Berechnung der kumulativen Dosiswerte für die ermittelten Dosismodelle

Die Lebensdosis wurde innerhalb der DWS-Richtwertestudie analog zum Mainz-Dortmunder Dosismodell sowie zur Deutschen Wirbelsäulenstudie bestimmt, indem die Tagesdosis zunächst entsprechend der im Interview erhobenen Häufigkeit je Jahr in dem betreffenden Be-

schäftigungsabschnitt und danach mit der Anzahl der jeweiligen Expositionsjahre multipliziert wurde; alle derartigen Expositionen je Jahr bzw. Beschäftigungsabschnitt wurden dann zur Ermittlung der kumulativen Gesamtdosis des Arbeitslebens bis zur Diagnosestellung bei Fallpersonen bzw. bis zur TAD-Erhebung bei Kontrollpersonen individuell aufsummiert.

Entsprechend dem Vorgehen in der DWS1 konnte sich die Ermittlung der Lebensdosiswerte bei allen Probanden, die die sogenannte „Auslöseschwelle“ überschritten, auf eine individuelle Ermittlung der beruflichen Expositionen durch Technische Aufsichtspersonen der Unfallversicherungsträger stützen. Für die „gering belasteten“ Probanden (14 % der männlichen und 11 % der weiblichen Fälle sowie 10 % der männlichen und 11 % der weiblichen Kontrollpersonen) gründete sich die Berechnung der Lebensdosiswerte nicht auf individuelle TAD-Ermittlungen. Demgegenüber wurde die Gesamtdosis der „gering belasteten“ Probanden als Produkt aus der durchschnittlichen geschlechtsspezifischen Jahresdosis einer Zufallsstichprobe „gering belasteter“ Kontrollpersonen und der Zahl der Arbeitsjahre gebildet. Eine Zufallsstichprobe von 27 (auf der Grundlage des Erstinterviews) „gering belasteten“ und 17 „nicht belasteten“ Kontrollpersonen wurde einer individuellen Belastungsermittlung durch Technische Aufsichtsdienste unterzogen.

Die resultierenden Lebensdosiswerte werden analog zur Darstellung im vorherigen Kapitel für die vier Modellgruppen („Eigenschaften“) sowie für das BSG-Modell bei separater Schwellenwert-Variation vorgestellt, um die Effekte aufgrund der unterschiedlich angenommenen Kriterien bzw. veränderten Berechnungsbedingungen zu verdeutlichen. Während die Anzahl der Tagesdosis-Paare je Diagramm etwa 9.000 bzw. 8.400 (mit/ohne Doppelinterviews) betrug, basieren die aktuellen Diagramme auf etwa 1.800 Lebensdosis-Paaren (ohne Doppelinterviews).

4.1.3.3 Vergleich der ermittelten Dosismodelle und Ermittlung der Bestmodelle

Wie bereits in der Deutschen Wirbelsäulenstudie (DWS1) wurde auch in der DWS-Richtwertestudie (DWS2) die Güte der Modellanpassung an den vorliegenden Datensatz bei Berechnung der jeweiligen beruflichen Gesamtdosis für die verschiedenen verwendeten Dosismodelle mit Hilfe des Akaike Information Criterion (AIC) geprüft. Nach separater Variation der Erhebungsschwellen – ausgehend vom zuvor festgelegten Grundmodell (s. Kap. 4.1.2.2) – wurden daher für jede der vier Fallgruppen getrennt die AIC-Werte für jeweils alle untersuchten Dosismodelle ermittelt.

Dabei wurde der Dosis-Wirkungs-Verlauf der einzelnen Dosismodelle mit fraktionalen Polynomen abgebildet⁹. Sowohl für den Einsatz von fraktionalen Polynomen 2. Grades als auch für den Einsatz von fraktionalen Polynomen höheren Grades ließen sich Vor- und Nachteile aufzeigen; für eine Darstellung und Diskussion dieser Vor- und Nachteile wird auf das Diskussionskapitel 7.3 verwiesen.

Im weiteren Verlauf wurden die Modellbildungen parallel mit fraktionalen Polynomen 2. und 4. Grades durchgeführt.

Annähernd gleichwertige Dosismodelle, d. h. Dosismodelle, die auf einem 5 %-Niveau statistisch nicht voneinander unterscheidbar sind, wurden in der sogenannten 95 %-Modellkonfidenzmenge zusammengefasst (Burnham und Anderson 2002). Eine Modellkonfidenzmenge ist somit eine Menge von Modellen, die so konstruiert ist, dass sie – vereinfachend ausgedrückt – das „tatsächlich“ beste Modell mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit (hier: 95 %) enthält. In diesem Sinn entspricht die Modellkonfidenzmenge dem Konfidenzintervall für einen einzelnen Parameter. Die Modellkonfidenzmenge spiegelt dabei die Grenzen der verwendeten Daten wider: So führen uninformative Daten zu Modellkonfidenzmengen mit einer größeren Anzahl von Modellen, als dies für Daten mit hohem Informationsgehalt der Fall ist (Hansen et al. 2011). Es wurden gleichzeitige 95 %-Konfidenzmengen aus fraktionalen Polynomen 2. und 4. Grades jeweils zu den verschiedenen Modellgruppen und pro Fallgruppe gebildet; zusätzlich wurden die Modelle einbezogen, die eine AIC-Differenz zum nominal besten Modell von höchstens 2 zeigen).

In einem nächsten Schritt sollten aus den 95 %-Modellkonfidenzmengen diejenigen Dosismodelle ausgeschlossen werden, die a priori definierte „biologische Plausibilitätskriterien“ nicht erfüllten. Die verbleibenden Modelle sollten die sogenannten „Bestmodelle“ darstellen; diese „Bestmodelle“ sind somit nicht identisch mit dem einen am besten anpassenden Dosismodell einer jeden Fallgruppe, das durch den niedrigsten AIC-Wert gekennzeichnet ist. Zur Beurteilung der biologischen Plausibilität waren in der DWS1 vier Kriterien für die möglichst gleiche prinzipielle Berechnungsgrundlage der Tagesdosis angewandt worden, die ursprünglich auch hinsichtlich der Anwendung in der DWS-Richtwertestudie zur Ermittlung der Bestmodelle vorgesehen waren:

1. möglichst gleiche Dosismodelle für Männer und Frauen;
2. monotoner Anstieg der Dosis-Wirkungs-Beziehung;

⁹ Im Vorgriff auf die im Ergebniskapitel 5.1.2.1 dargestellte Entscheidung für den weiteren Umgang mit kontinuierlichen Variablen (für die zugrunde gelegte Methodik siehe Kap. 4.1.2.1) soll bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass sich klare Vorteile für den Einsatz fraktionaler Polynome ergaben und dass die Ableitung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen im weiteren Projektverlauf auf der Grundlage fraktionaler Polynome durchgeführt wurde.

3. einfache Berechnungsgrundlage;
4. hohe Spezifität

Im Forschungsverbund konnte jedoch im Verlauf der Datenauswertung kein Konsens dahingehend erzielt werden, wie die genannten Kriterien interpretiert werden sollen. Zur inhaltlichen Diskussion der Anwendung der Plausibilitätskriterien wird auf das Diskussionskapitel 7.2 verwiesen.

4.1.3.4 Gleichzeitige Variation von Erhebungsschwellen nach Definition der am besten anpassenden Modelle je Fallgruppe und Ermittlung finaler Referenzmodelle mit Hilfe des („ersten“) Multi-Modell-Ansatzes

Mit Hilfe eines „ersten Multi-Modell-Ansatzes“ wurde das AIC-gewichtete Mittel der Tagesdosischwelle, der Druckkraftschwelle sowie der Rumpfvorneigungsschwelle bestimmt. Diese Vorgehensweise diente dem Ziel, dass für die vier Fallgruppen Dosismodelle mit gleichzeitiger Variation von Erhebungsschwellen generiert wurden, sogenannte Kombinationsmodelle. Diese Ausgangsmengen wurden abschließend pro Fallgruppe zu einer finalen Modellklasse, die die 95 %-Modellkonfidenzmengen der drei Modellgruppen umfasst, vereint.

Da die sich derart ergebenden Schwellen durch die Exponentialfunktion-bezogene AIC-Wichtung nicht notwendigerweise mit einer der a priori definierten Schwellen (vgl. Abbildung 4.1.3-1) zusammenfallen, sondern Werte zwischen diesen vorab definierten Schwellen annehmen können, wurde jeweils der nächstliegende der vorab definierten Schwellenwerte gewählt. Es wird also jeweils dasjenige Dosismodell als Referenz(dosis)modell gewählt, das am nächsten an der gemittelten Schwelle liegt.

Die Eigenschaften (Schwellen) der Referenzdosismodelle werden unabhängig voneinander sowohl in die „Der Dortmunder“-Modelle als auch in die in Projektteil II bestimmte Dosisermittlung („Bestimmungsgleichungen“) übernommen, um finale Referenzdosismodelle (Kombinationsmodelle) abzuleiten. Dies löst das Problem, dass keine gemeinsamen Variationen der Schwellen der Modellvariablen Tagesdosis, Druckkraft, Rumpfbeugung und Ziehen/Schieben durchgeführt wurden. Einschränkend ist darauf hinzuweisen, dass die Konstruktion der finalen Referenzdosismodelle und der daraus abgeleiteten Referenzdosiswerte („Referenzdosen“) auf einer Unabhängigkeitsannahme („eindimensionale Optima bedingen ein mehrdimensionales Optimum“, vgl. Kap. 7.3) beruht.

Diese so definierten finalen Referenz(dosis)modelle enthalten dann alle gemittelten Modellcharakteristika simultan. Kommen mehrere finale Referenzdosismodelle für eine Fallgruppe

in Betracht, werden die AICs zu den zugehörigen Modellen bestimmt, um das jeweils nominal beste Dosismodell zu wählen. Die „zweite Serie“ von Referenzdosismodellen – die dieselben fallgruppenspezifischen Eigenschaften (Schwellen) aufweisen wie die beschriebenen finalen Referenzdosismodelle – basiert auf den im Projektteil II (Kap. 4.2. und 5.2) ermittelten Bestimmungsgleichungen. Durch den Verzicht auf die aufwändige Druckkraft-Berechnung mit dem „Dortmunder“ bei der Bestimmung von Tagesdosen sind die Dosismodelle dieser zweiten Serie praxistauglicher als die der ersten Serie.

4.1.4 Ableitung eines Vorschlags zur Bestimmung des Lebensdosis-Richtwertes und weiterer Richtwerte (Druckkraft, Rumpfvorneigung, Tagesdosis)

4.1.4.1 „Zweiter“ Multi-Modell-Ansatz

Durch die im Zuge der Schwellenwertvariation entstandene hohe Zahl untersuchter Dosismodelle ergibt sich die grundsätzliche Schwierigkeit, aus dieser Menge ein geeignetes Modell auswählen zu müssen. Voraussetzung für eine „statistische“ Unterscheidung zwischen einzelnen Modellen (unter Verwendung des AIC-Kriteriums) ist, dass eine inhaltliche Unterscheidung zwischen plausiblen und weniger plausiblen Modellen nicht möglich ist. Soweit diese Voraussetzung erfüllt ist, kann eine A-posteriori-Entscheidung für eines oder wenige dieser Modelle einen Informationsverlust bedeuten. Auch wenn das gemäß der im Kap. 4.1.3.4 beschriebenen Methodik ermittelte „Referenzmodell“ bereits eine gute Annäherung an die „besten Modelleigenschaften“ darstellen sollte, war davon auszugehen, dass sich neben diesem Referenzmodell auch eine Vielzahl weiterer – statistisch nicht unterscheidbarer – Dosismodelle in den jeweiligen fallgruppenspezifischen 95 %-Modellkonfidenzmengen befinden würde. Um dieses Problem zu lösen und zur bestmöglichen Ausschöpfung der Information wurden in der DWS-Richtwertestudie daher in einem „zweiten Multi-Model-Ansatz“ Multi-Modell-Analysen (MMA; siehe Burnham und Anderson 2002, S. 448f.) zu stetigen Regressionsfunktionen durchgeführt. Dabei wurde über den fallgruppenspezifischen „finalen Referenzdosen“ – dies sind die Dosiswerte bei Anwendung des jeweiligen finalen Referenzdosismodells – die Multi-Modell-Analyse der finalen Modellklasse pro Fallgruppe durchgeführt. Genauere Ausführungen zum mathematischen Vorgehen bei der MMA im Einzelnen finden sich im Anhang zum Bericht, Text 14-1. Alle Rechnungen erfolgten mit kontinuierlichen Variablen und wurden mit STATA 11 im IERA durchgeführt. Die Konfidenzintervallschätzung zu den OR-Referenzdosiskurven erfolgte mit der Default-Einstellung in STATA 11.

4.1.4.2 Ableitung von Verdopplungsdosen

Zur Ableitung eines Vorschlags zur Bestimmung von Lebensdosis-Richtwerten für die vier Fallgruppen wurden die Ergebnisse 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.

Bei Erkrankungen mit einer hohen Prävalenz in der Allgemeinbevölkerung tendiert das Odds Ratio (OR) zur Überschätzung des relativen Erkrankungsrisikos. Es stellte sich also die Frage nach der Prävalenz der in die DWS einbezogenen Erkrankungsbilder (Prolaps mit Wurzelsyndrom und Chondrose). Bei einer hohen Prävalenz dieser Erkrankungsbilder wäre eine Korrektur der mit dem Odds Ratio erzielten Schätzwerte des relativen Erkrankungsrisikos zu erwägen gewesen.

Prävalenzschätzungen für Prolaps mit Wurzelsyndrom und fortgeschrittene Chondrose mit Bewegungseinschränkung bzw. Wurzelsyndrom in der Allgemeinbevölkerung wurden im Rahmen der DWS-Richtwertestudie als informierte Schätzwerte (informed guesses) aus den folgenden drei Datenquellen ermittelt:

1. DWS-interne Erhebungsinzidenz mit Annahmen zur Erfassungsabdeckung,
2. Angaben zur Häufigkeit diagnosebezogener Fallgruppen bzgl. der stationären Behandlungsinzidenz („diagnosis related groups“: DRG) und
3. Auswertung von bevölkerungsbezogenen Erhebungen.

Generell wurde ein Umrechnungsfaktor der 1-Jahres-Inzidenz in die entsprechende Prävalenz von 1 zu 2,5 angesetzt.

1. DWS-interne Erhebungsinzidenz mit Annahmen zur Erfassungsabdeckung

Aus dem Abschlussbericht der Deutschen Wirbelsäulenstudie (DWS1) und der Originaldatenbank wurden Rekrutierungsdauern und Fallzahlen für die einzelnen Fallgruppen entnommen. Durch aktuelle Rückfragen bei den Rekrutierungszentren und Konsultation der jeweiligen Branchenverzeichnisse wurde der Abdeckungsgrad (Ausschöpfungsgrad) der Fallerhebung in Krankenhäusern und teilweise in operierenden Praxen abgeschätzt. In grober Näherung wird hier der Abdeckungsgrad (erhobene Fallzahlen zu allen prävalenten Fällen in der Region) mit 1 : 10 angesetzt. Im Ergebnis finden sich die in der Tabelle 4.1.4-1 zusammengefassten Werte: Die Prävalenz der Prolapse (Fallgruppen 1 und 2) wird mit diesem An-

satz mit etwa 0,2 bis 0,4 % abgeschätzt, die Prävalenz der Chondrosen (Fallgruppen 3 und 4) mit etwa 0,1 bis 0,3 %.

Tabelle 4.1.4-1: DWS-interne Erhebungsinzidenz

Zentrum	Anzahl Fälle	Bevölkerung	Rekrutierungsdauer (in Jahren)	Prävalenz (in %)
Prolapse				
1 (Frankfurt)	157	1.200.000	1,79	0,18
2 (Freiburg)	159	600.000	1,82	0,36
3 (Halle)	152	600.000	1,91	0,33
4 (Regensburg)	116	436.000	1,67	0,40
Chondrosen				
1 (Frankfurt)	68	1.200.000	1,79	0,08
2 (Freiburg)	78	600.000	1,82	0,18
3 (Halle)	106	600.000	1,91	0,23
4 (Regensburg)	77	436.000	1,67	0,26

2. DRG-Zahlenangaben der stationären Behandlungsinzidenz

Laut DRG-Statistik¹⁰ finden sich im Jahr 2009 für die ICD-10-Diagnosen M42 (Osteochondrose der Wirbelsäule) bzw. M51 (Sonstige Bandscheibenschäden) 26.956 bzw. 139.521 vollstationäre Fälle in Hauptabteilungen und belegärztlicher Versorgung in der DWS-relevanten Altersgruppe von 20-75 Jahren. Für die weiteren Schätzungen wird angenommen, dass bei 100 % der Fälle in M42 und in 60 % der Fälle in M51 die Fall-Definition der DWS erfüllt ist.

Die deutsche Bevölkerung in diesem Altersbereich betrug am Stichtag 31.12.2008 59.321.420 Personen¹¹. Daraus ergibt sich eine 1-Jahres-Inzidenz von 0,045 % bzw. 0,141 %. Gemäß der Annahme, dass die Prävalenz das 2,5-fache der 1-Jahres-Inzidenz beträgt, ergibt sich eine Prävalenz von

- 0,11 % für die DWS-Definition der Chondrose und
- 0,35 % für die DWS-Definition des Prolapses.

¹⁰ DRG = („Diagnosis related groups“, DRG); ACCESS-Datenbank "Begleitforschung_§17b_Abs8_KHG_Datenjahr_2009.mde", Download von http://www.g-drg.de/cms/Begleitforschung_gem._17b_Abs_8_KHG, 21.03.2012.

¹¹ Bevölkerung: Deutschland, Stichtag 31.12.2008, (C)opyright Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2012, Stand: 21.03.2012 / 16:14:35.

3. Auswertung von bevölkerungsbezogenen Erhebungen

In Fortsetzung des Bundesgesundheitssurveys von 1998 wurde im Rahmen des Telefonischen Gesundheitssurveys 2003 eine repräsentative Stichprobe der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland u. a. zum Auftreten von Rückenschmerzen (Low back pain) befragt¹². Die daraus ermittelte (Punkt)Prävalenz lag für die gesamte Untersuchungsgruppe bei 22,3 % (Konfidenzintervall: 21,4-23,2 %; Prävalenz bei Männern: 18 %, Frauen: 27 %; n = 8.318 Erwachsene, davon 4.302 Frauen und 4.016 Männer im Alter ≥ 18 Jahre). Unter der Annahme, dass Prolapse für etwa 10 % dieser Rückenschmerzen verantwortlich sind¹³, ergibt sich eine Prävalenz des Prolapses von 2,23 %. Für Chondrosen konnten auf diesem Weg keine aussagekräftigen Angaben gefunden werden.

4. Wertung der drei Ansätze zur Inzidenzschätzung

Die angegebenen Abschätzungen sind naturgemäß mit einer hohen Unsicherheit behaftet. Dennoch halten die Werte einer gewissen inhaltlichen Plausibilitätsprüfung durchaus stand. Eine Schätzzahl für die zu erwartende Prävalenz von Chondrose und Bandscheibenvorfällen mit Radikulärsyndrom im Altersbereich 20-75 Jahre kann somit jeweils in einem Bereich von 0 % bis 2 % angesetzt werden. Entsprechend wurde die Abhängigkeit der Schätzung der Verdopplungsdosis von Basisprävalenzen im Bereich von 0 % bis 5 % geprüft.

Die Risikoverdopplung wurde somit als erfüllt angesehen, wenn $OR = 2$ betrug. Aus den mit Hilfe der Modellmittelung gewonnenen Referenzdosis-OR-Kurven (mit Konfidenzbereichen) wurden durch Umkehrung Dosisangaben abgeleitet, die mit einer Überschreitung des kritischen relativen Risikos einhergehen; dies lieferte eine Schätzung der Verdopplungsdosis. Es wurden zudem Konfidenzintervalle zu der berechneten Verdopplungsdosis bestimmt, um die Belastbarkeit der Ergebnisse bewerten zu können. Dies erfolgte wiederum „durch Umkehrung“, indem die Schnittpunkte der oberen und unteren Konfidenzkurven mit dem „Risikoverdopplungswert ($OR = 2$)“ abgegriffen wurden.

Diese Verdopplungsdosisbestimmung erfolgte für die Haupt- und Nebenanalyse und sowohl für die Dosisermittlung auf Basis des „Dortmunders“ als auch mittels der „Bestimmungsgleichungen“. Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise enthält der Anhang.

¹² Neuhauser H, Ellert U, Ziese T. Chronische Rückenschmerzen in der Allgemeinbevölkerung in Deutschland 2002/2003: Prävalenz und besonders betroffene Bevölkerungsgruppen. Gesundheitswesen. 2005 Oct;67(10):685-93.

¹³ http://www.gbe-bund.de/gbe10/abrechnung.prc_abr_test_logon?p_uid=gasts&p_aid=&p_knoten=FID&p_sprache=D&p_suchstring=912::Erwerbsunf%E4higkeitsrente, Zugriff am 27.03.2012.

4.2 Projektteil II

4.2.1 Entwicklung von Bestimmungsgleichungen

Die für die vorliegende DWS-Richtwertestudie relevanten Expositionen bestanden aus unterschiedlichen Arten von potenziellen Wirbelsäulenbelastungen, wie sie für die DWS1 definiert wurden: Belastungsintensive Körperhaltungen durch Vorneigen, Seitbeugen oder Verdrehen des Rumpfes, manuelle Lastenhandhabungen (Heben, Halten, Tragen, Ziehen, Schieben, Fangen, Werfen und Schaufeln von Lasten), manuelle Kraftaufwendungen sowie branchenspezifische Wirbelsäulenbelastungen aus den Bereichen Alten- und Krankenpflege, Forstwirtschaft und Landwirtschaft. Die Daten zu den „externen Belastungsfaktoren“ bezüglich der resultierenden Wirbelsäulenbelastung wie gehandhabte Lastgewichte, eingenommene Körperhaltungen oder Häufigkeiten und Zeiten einzelner Belastungssituationen entstammten dem TAD-Interview der DWS („TAD-Datensatz“), der im IFA erstellt und gepflegt wurde (Ellegast et al. 2007). Die entsprechenden Daten zur (Körper-)internen Wirbelsäulenbelastung in Form von Bandscheiben-Druckkräften wurden im IfADo mittels des biomechanischen Modells „Der Dortmunder“ (Jäger et al. 2000) berechnet. Dieser wird im Folgenden als „IfADo-Datensatz“ bezeichnet.

Um nun ein einfaches Berechnungsverfahren zur Abschätzung der (internen) Wirbelsäulenbelastung für die einzelnen Belastungssituationen im „TAD-Datensatz“ zu entwickeln, das ohne zusätzliche aufwändige biomechanische Modellierungen auskommt, waren die internen Belastungen den externen zuzuordnen und die Anzahl der verschiedenen Arten von Belastungssituationen durch Vereinfachung und Zusammenfassung deutlich zu reduzieren. Für diesen Zweck kamen unterschiedliche Strategien zum Einsatz: Bei einem Teil der Belastungssituationen konnten konstante, über biomechanische Modellierungen gewonnene Druckkraftwerte „direkt“ zugeordnet werden (z. B. Rumpfbeugehaltungen), in anderen Situationen konnten bereits existierende Berechnungsformeln genutzt werden (z. B. Ziehen und Schieben). Für manuelle Lastenhandhabungen wie das Heben und Tragen von Lasten mussten dagegen spezifische Berechnungsformeln aus den Expositionsdaten, sogenannte „Bestimmungsgleichungen“, abgeleitet werden. Im Folgenden werden die Strategien für die einzelnen Belastungsarten dargestellt.

4.2.1.1 Konstante Druckkraftwerte

Für eine Reihe von Expositionen war es möglich, biomechanisch hergeleitete Druckkraftwerte für die Bandscheibe L5/S1 aus der Literatur zu hinterlegen, wie dies für bestimmte Belastungsarten in der DWS bereits der Fall war.

a) Belastungsintensive Oberkörperhaltungen

Zu dieser Kategorie gehören Haltungen des Oberkörpers wie Rumpfbeugen unterschiedlicher Ausprägung, Torsionen und Seitbeugungen, die in der DWS als „OK-Piktogramme“ bezeichnet wurden. Die Zuordnung von Bandscheiben-Druckkräften zu den einzelnen Haltungen erfolgte analog zur DWS (Tabelle 4.2.1-1).

b) Schaufeln

Abweichend von der Zuordnung in der DWS erfolgte eine Neubewertung von Schaufelvorgängen aufgrund aktueller Forschungsergebnisse (Glitsch et al. 2008), wonach einem typischen Schaufelvorgang eine Bandscheiben-Druckkraft von 3,5 kN und eine durchschnittliche Dauer von zwei Sekunden zugeordnet wurden (vormals: 4,5 kN, 3 s; s. Theilmeier et al. 2000).

c) Sonderfall „Pflege“

Die Erfassung der externen Wirbelsäulenbelastungen im Bereich der Alten- und Krankenpflege erfolgte in der DWS nicht über die Abfrage von Körperhaltungen und Lastenhandhabungen, sondern durch die Erfassung von insgesamt 21 spezifischen Tätigkeiten, wie sie typischerweise in der Pflege-Praxis vorkommen. Diesen Tätigkeiten wurden Druckkraftwerte aus früheren biomechanischen Untersuchungen zugeordnet (Kuhn et al. 2001), aktualisiert und ergänzt durch aktuelle Untersuchungen des IfADo (Jäger et al. 2005; Theilmeier et al. 2006).

Tabelle 4.2.1-1: Oberkörperhaltungen (OK-Piktogramme) und zugeordnete Bandscheiben-Druckkräfte

OK-Piktogramm	Oberkörperhaltung	Bandscheiben-Druckkraft [kN]
OK 1	aufrecht (0°)	0,6
OK 2	vorgeneigt (20°)	1,2
OK 3	vorgeneigt (45°)	1,7
OK 4	vorgeneigt (75°)	1,9
OK 5	extrem vorgeneigt ($\geq 90^\circ$)	1,7
OK 6	aufrecht und verdreht	0,8
OK 7	zur Seite gebeugt	1,1
OK 8	vorgeneigt/verdreht oder vorgeneigt/seitlich gebeugt	2,0

4.2.1.2 Individuelle Druckkraftwerte – Berechnungsformeln aus der Literatur

Für eine Reihe von Belastungsarten finden sich in der Literatur bereits mathematische Formeln, um die entsprechende Bandscheiben-Druckkraft anhand bestimmter Eingangsgrößen wie der Masse der gehandhabten Last zu berechnen. Diese können z. B. bei Belastungen durch Ziehen und Schieben von Lastobjekten angewandt werden. Hier sind bei der Abschätzung der Wirbelsäulenbelastungen Faktoren wie Griffhöhe, Krafrichtung, Körperhaltung und Reibungskoeffizienten zu berücksichtigen. Entsprechende Angaben finden sich z. B. bei Jäger et al. (2001).

4.2.1.3 Individuelle Druckkraftwerte – Ableitung von Bestimmungsgleichungen

Im Gegensatz zu den bereits genannten Verfahren handelt es sich bei den manuellen Lastenhandhabungen Heben, Umsetzen, Absenken, Tragen und Halten um Belastungsarten, denen weder eine konstante Kraft noch einfache Berechnungsformeln aus der Literatur zugeordnet werden konnten. In der DWS erfolgte die Ermittlung der entsprechenden internen Wirbelsäulenbelastung deshalb über aufwändige biomechanische Simulationsrechnungen („Der Dortmunder“). Um nun aus diesen Daten ein praktikables, auf Berechnungsformeln

basierendes Instrument der Druckkraftbestimmung zu entwickeln, war es notwendig, die zahlreichen in der DWS beschriebenen Belastungskombinationen aus Art der Handhabung, Körperhaltung, Lasthöhe, Händigkeit usw. sinnvoll zu vereinfachen und zusammenzufassen.

4.2.1.3.1 Datengrundlage

Als Grundlage für die Ableitung von Bestimmungsgleichungen standen Daten zur beruflichen Exposition von 1.199 Probanden aus dem im Rahmen der DWS durchgeführten „TAD-Interviews“ zur Verfügung. Von diesen lagen für 47 Probanden, die zu den sog. „Stichproben“ der im Sinne der Studie gering- und nichtbelasteten Probanden zählten, sowie für 29 Probanden, die ausschließlich Belastungen durch in dieser Auswertung nicht mehr berücksichtigte Ganzkörpervibrationen aufwiesen, keine Daten zur internen Wirbelsäulenbelastung vor. Von den verbliebenen 1.123 Probanden waren 159 Probanden mit Datensätzen aus den Bereichen Pflege, Land- oder Forstwirtschaft, die in der DWS mittels „Sondermodulen“ erfasst wurden, und deshalb nicht für die Ableitung von Bestimmungsgleichungen geeignet waren. Der endgültig zur Verfügung stehende Datensatz umfasste demnach 964 Probanden (siehe Abbildung 4.2.1-1). Für diese Probanden lagen insgesamt 4.450 Arbeitsschichten mit relevanten Belastungen vor.

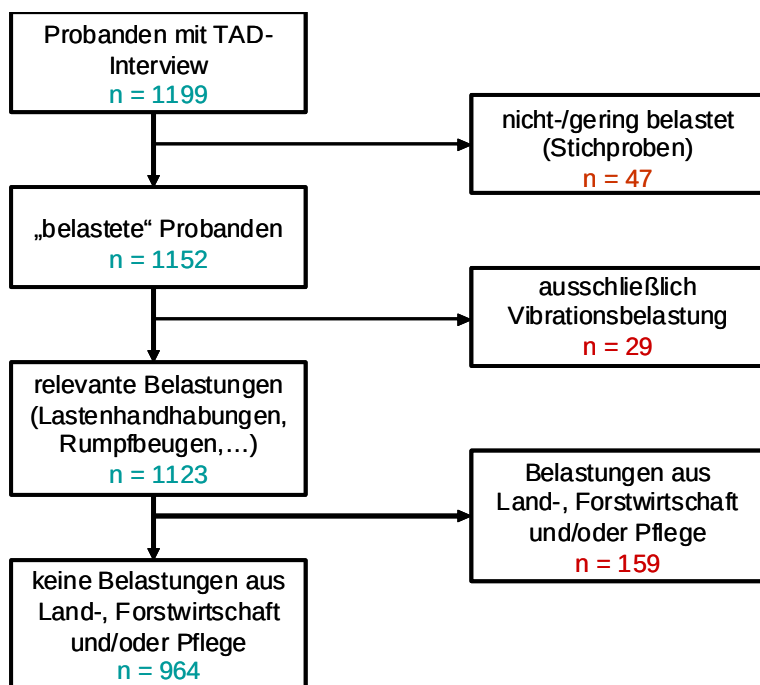


Abbildung 4.2.1-1: Datengrundlage zur Ableitung von Bestimmungsgleichungen (Flow-Chart)

a) Heben, Umsetzen und Absenken

Zur Beschreibung der Belastungsarten Heben/Absenken und Umsetzen von Lasten waren in der DWS Angaben zur Händigkeit (zwei Kategorien), Oberkörperhaltung (acht Kategorien), Lastposition (zehn Kategorien) und Lasthöhe (sechs Kategorien) notwendig (siehe Abbildung 4.2.1-2 und Tabelle 4.2.1-2). Daraus ergaben sich theoretisch 960 mögliche „Belastungskombinationen“ ($2 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 6$). Da beim Heben von Lasten weiterhin zwischen einem Anfangs- und einem Endpunkt eines Vorgangs unterschieden wurde, ergaben sich theoretisch 921.600 Kombinationen ($960 \cdot 960$), von denen in der DWS schließlich 1.738 vorkamen.

Tabelle 4.2.1-2: Lasthöhen

Lasthöhe	Codierung
über Kopf	1
Kopfhöhe	2
Brusthöhe	3
Hüfthöhe	4
Kniehöhe	5
Boden	6

b) Tragen

Analog zu den Hebevorgängen wurde die Belastungsart Tragen von Lasten in Form von Kombinationen aus Händigkeit, Oberkörperhaltung, Lastposition und Lasthöhe im Datensatz beschrieben, so dass theoretisch 960 Belastungskombinationen möglich waren. In der Praxis enthielt der „IfADo-Datensatz“ insgesamt 65 „Tragekombinationen“.

c) Halten

Für das Halten von Lasten galten die gleichen Annahmen wie für das Tragen. Von den theoretisch möglichen 960 Belastungskombinationen kamen in der Praxis 75 vor.

Insgesamt umfasste der Datensatz demnach $1.738 + 65 + 75 = 1.878$ Kombinationen für die Belastungsarten Heben, Absenken, Umsetzen, Tragen und Halten.

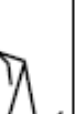
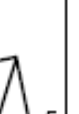
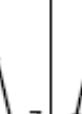
Oberkörperhaltung										
Lastposition	OL- Piktogramme (Oberkörperhaltung- Lastposition)		aufrecht	vorgeneigt (ca. 20°)	vorgeneigt (ca. 45°)	vorgeneigt (ca. 75°)	extrem vorgeneigt (ca. 90° oder mehr)	aufrecht und verdreht	zur Seite gebeugt	vorgeneigt / verdreht oder vorgeneigt / seitlich gebeugt
			 ₁	 ₂	 ₃	 ₄	 ₅	 ₆	 ₇	 ₈
	Last vor dem Körper, Arme weit nach vorne	 ₁	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
	Last vor dem Körper, Arme dicht am Körper	 ₂	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8
	Last auf einer Seite, beidhändig	 ₃	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8
	Last auf einer Seite, einhändig	 ₄	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8
	Lasten beiderseits des Körpers	 ₅	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8
	Last über Kopf	 ₆	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8
	Last auf einer Schulter	 ₇	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8
	Last auf beiden Schultern	 ₈	8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8
	Last auf dem Rücken, ohne Einsatz der Arme	 ₉	9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8
	Last auf dem Rücken, mit Einsatz der Arme	 ₁₀	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8

Abbildung 4.2.1-2: Kombinationsmöglichkeiten Oberkörperhaltung-Lastposition („OL-Matrix“)

4.2.1.3.2 Erstellen von Regressionsgleichungen

Als erster Schritt zur Ableitung von Bestimmungsgleichungen für die genannten Belastungsarten war es notwendig, Regressionsgleichungen der Form „ $F = mx + b$ “ aufzustellen, wobei „F“ die Bandscheiben-Druckkraft bezüglich L5/S1, „m“ den Lastgewichtskoeffizienten, „x“ das Lastgewicht in kg und „b“ die Komponente der Oberkörperhaltung beschreiben. Dazu wurden diejenigen Kombinationen ausgewählt, für die mindestens drei verschiedene Lastgewichte vorlagen. Insgesamt erfüllten 554 Belastungskombinationen diese Bedingung. Um den Datensatz weiter zu reduzieren, wurden lediglich diejenigen Kombinationen als relevant eingestuft, die mindestens zehnmal im Datensatz vorkamen (Vorkommen ≥ 10), so dass sich die Anzahl der Kombinationen auf insgesamt 271 verringerte. Aus den entsprechenden Masse-Kraft-Paaren wurden mittels linearer Regression Formeln für die Berechnung der Bandscheiben-Druckkraft bei gleicher Handhabung von unterschiedlichen Lastgewichten aufgestellt. Die entsprechenden Kombinationsmöglichkeiten für die einzelnen Belastungskategorien sind in Tabelle 4.2.1-3 dargestellt.

Tabelle 4.2.1-3: Häufigkeiten von Belastungskategorien und Belastungskombinationen im „IfADo-Datensatz“

		Anzahl Kombinationen gesamt	Anzahl Kombinationen mit mind. 3 verschie- denen Lastgewichten	Anzahl Kombinationen mit mind. 3 versch. Lastgewichten und Vorkommen ≥ 10
Umsetzen	beidhändig	190	54	24
	einhandig	79	20	7
Heben	beidhändig	545	163	79
	einhandig	316	86	38
Absenken	beidhändig	388	119	54
	einhandig	220	47	23
Tragen	beidhändig	46	20	15
	einhandig	19	10	9
Halten	beidhändig	55	28	17
	einhandig	20	7	5
gesamt		1.878	554	271

4.2.1.3.3 Zusammenfassung von Belastungskombinationen

a) Festlegung von „Grund-Piktogrammen“

Nach der Identifizierung relevanter Belastungskombinationen war deren Anzahl durch sinnvolle Zusammenfassung zu reduzieren. Als Grundlage diente hierzu wiederum die „OL-Matrix“ zu Hebe-, Absenk- und Umsetz- und Tragevorgängen (siehe Abbildung 4.2.1-2). Als „Grund-Piktogramme“ der relevanten Belastungen wurden folgende vier OL-Piktogramme festgelegt: OL 2 (Last vor dem Körper, Arme dicht am Körper, ein- oder beidhändig), OL 4 (Last auf einer Seite, einhändig), OL 5 (Lasten beidseits des Körpers) und OL 7 (Last auf einer Schulter). Da die Kombinationen OL 6 (Last über Kopf), OL 8 (Last auf beiden Schultern), OL 9 (Last auf dem Rücken, ohne Einsatz der Arme) und OL 10 (Last auf dem Rücken, mit Einsatz der Arme) im Vergleich zu OL 7 ähnliche Lastenhandhabungen darstellen und relativ selten im Datensatz vorkamen, wurden diese OL-Piktogramme im gesamten Datensatz durch OL 7 ersetzt (siehe Abbildung 4.2.1-3).

Da die Regressionsgleichungen für das Anheben und Absenken von Lasten bei ansonsten identischen Bedingungen sehr ähnlich waren, wurden sie für das weitere Vorgehen zusammengefasst.

b) Festlegung von Faktoren

Ein weiterer Schritt zur Reduzierung der Anzahl möglicher Bestimmungsgleichungen lag in der Einführung fester Faktoren anstelle spezifischer Formeln. Demnach wurden die Piktogramme OL 1 (Last vor dem Körper, Arme weit nach vorne) und OL 3 (Last auf einer Seite, beidhändig) durch das „Grund-Piktogramm“ OL 2 ersetzt und um einen Kraftaufschlag für „asymmetrische Handhabung“ (OL 3) bzw. „körperferne Handhabung“ (OL 1) ergänzt. Die entsprechenden Faktoren bezogen sich dabei auf die Gesamtformel, d. h. sowohl auf die Lastkomponente als auch auf die Komponente der Oberkörperhaltung.

c) Festlegung von „Basisformeln“

Dadurch, dass in der DWS Lastenhandhabungen jeweils durch eine Kombination aus Oberkörperhaltung, Lastposition und Lasthöhe zu zwei Zeitpunkten („von“ – „nach“) genau beschrieben waren, waren bei der Handhabung einer Last von einer Lasthöhe auf eine andere mehrere Kombinationen von Oberkörperhaltungen und Lastpositionen möglich. Tabelle 4.2.1-4 verdeutlicht, dass für die Kombination „vom Boden auf Kniehöhe“ insgesamt fünf Kombinationen von symmetrischen, beidhändigen, körpernahen Hebevorgängen vorkamen.

Oberkörperhaltung									
OL- Piktogramme (Oberkörperhaltung- Lastposition)	aufrecht	vorgeneigt (ca. 20°)	vorgeneigt (ca. 45°)	vorgeneigt (ca. 75°)	extrem vorgeneigt (ca. 90° oder mehr)	aufrecht und verdreht	zur Seite gebogen	vorgeneigt und verdreht oder vorgeneigt und gebogen	
Last vor dem Körper, Arme weit nach vorne		- körperfern -							
Last vor dem Körper, Arme dicht am Körper		2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8
Last auf einer Seite, beidhändig		- Asymmetrie -							
Last auf einer Seite, einhändig		4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8
Lasten beidseits des Körpers		5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8
Last über Kopf		6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8
Last auf einer Schulter		7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8
Last auf beiden Schultern		8.1	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.7	8.8
Last auf dem Rücken, ohne Einsatz der Arme		9.1	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8
Last auf dem Rücken, mit Einsatz der Arme		10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7	10.8

Abbildung 4.2.1-3: Zusammenfassung von „OL-Piktogrammen“

Tabelle 4.2.1-4: Beispiel: Kombinationen von OL-Piktogrammen bei symmetrischen, beidhändigen, körpernahen Hebevorgängen vom Boden (Lasthöhe 6) auf Kniehöhe (Lasthöhe 5)

Lasthöhe (identisch)	OL-Piktogramm	Vorneigung	„Rumpfbeugeklasse“
von 6 nach 5	von OL 2.3 nach OL 2.2	von 45° nach 20°	ca. 45°
von 6 nach 5	von OL 2.4 nach OL 2.2	von 75° nach 20°	ca. 75°
von 6 nach 5	von OL 2.4 nach OL 2.3	von 75° nach 45°	
von 6 nach 5	von OL 2.5 nach OL 2.3	von 90° nach 45°	ca. 90°
von 6 nach 5	von OL 2.5 nach OL 2.4	von 90° nach 75°	

Da für jede dieser Belastungskombinationen („Zeilen“ in Tabelle 4.2.1-4) eine Regressionsgleichung zu hinterlegen war, bestand eine weitere Möglichkeit, deren Anzahl zu reduzieren, in der sinnvollen Zusammenfassung dieser Kombinationen in „Rumpfbeugeklassen“. Für diese Einteilung war die innerhalb der Lasthöhenkombination vorkommende maximale Rumpfbeugung maßgeblich. Die Regressionsgerade der geringsten Rumpfbeuge-Ausprägung innerhalb einer Lasthöhenkombination wurde schließlich als „Basisformel“ festgelegt (im Beispiel in Tabelle 4.2.1-4: erste Zeile). Gab es bei einer bestimmten Lasthöhenkombination mehrere Regressionsgleichungen innerhalb der kleinsten Rumpfbeugeklasse, wurde aus den entsprechenden Daten eine neue Regressionsformel abgeleitet und als „Basisformel“ festgelegt. Für die übrigen Rumpfbeugeklassen einer Lasthöhenkombination sollte diese „Basisformel“ zuzüglich eines Faktors für den Rumpfbeugegrad angesetzt werden. Dieser Faktor wurde anhand der im Datensatz vorkommenden Lastgewichte für die entsprechenden Belastungskombinationen ermittelt.

Analog wurden Faktoren für das „körperferne Handhaben“ und das „asymmetrische Handhaben“ abgeleitet und auf die jeweilige „Basisformel“ bezogen. Dabei zählten als „körperferne Handhabung“ alle Belastungskombinationen, in denen ein OL 1-Piktogramm vorkam bzw. als „asymmetrische Handhabung“ alle Kombinationen, in denen ein OL 3-Piktogramm vorhanden war. Bei Kombinationen, die sowohl ein OL 1- als auch ein OL 3-Piktogramm enthielten, wurde diese Kombination aufgrund der höheren Wirbelsäulenbelastung als asymmetrisch gewertet.

Die Handhabungsarten Umsetzen, Tragen und Halten wurden in analoger Weise mit „Basisformeln“ und Faktoren für Rumpfbeuge, „körperferne“ sowie „asymmetrische Handhabung“ hinterlegt.

Insgesamt ergab sich auf diese Weise ein Satz aus 45 „Basisformeln“ bzw. unter Einbeziehung der genannten Faktoren ein Formelsatz aus insgesamt 124 Gleichungen.

d) Zusammenfassung von Lasthöhen bzw. Piktogrammen

Um den Formelsatz weiter zu reduzieren, sollten die in der DWS verwendeten sechs Lasthöhen zu sinnvollen Kategorien zusammengefasst werden. Auf diese Weise erfolgte eine Verringerung auf insgesamt drei verschiedene Lasthöhen in Verbindung mit drei Oberkörperhaltungen (Abbildung 4.2.1-4). Dabei ist zu beachten, dass „aufrecht“ für eine Lastenhandhabung in Kopfhöhe oder über Kopf steht, „leicht gebeugt“ für eine Handhabung auf Hüft- bis Brusthöhe und „stark gebeugt“ für eine Handhabung auf Boden- bis Kniehöhe.

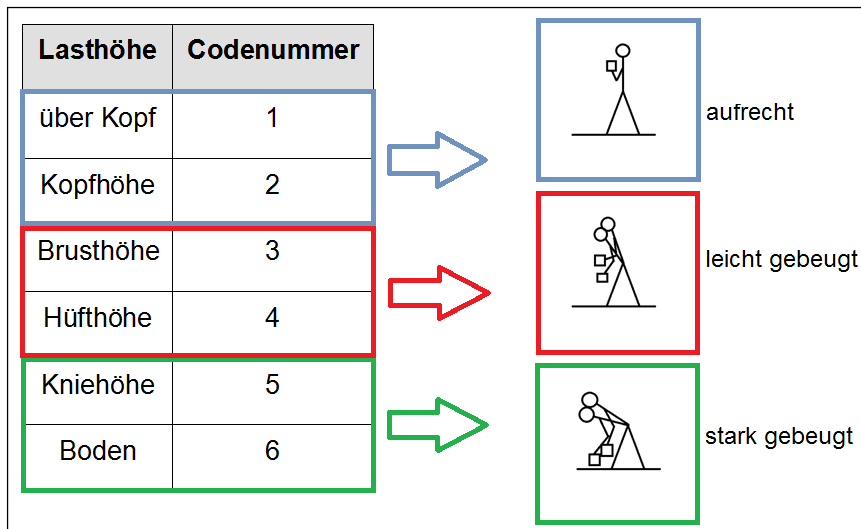


Abbildung 4.2.1-4: Reduktion der Anzahl der Lasthöhen

Durch die Zusammenfassung verschiedener Lasthöhen lagen nun für die neuen Belastungskombinationen jeweils mehrere der ursprünglichen „Basisformeln“ und Faktoren vor. Um für jede Kombination eine eindeutige Formel zu erhalten, wurden die entsprechenden Steigungen („Lastgewichtskomponenten“), Achsenabschnitte („Komponenten der Oberkörperhaltung“) und Faktoren nach Häufigkeit gewichtet gemittelt (Abbildung 4.2.1-5). Für beidhändige Handhabungen gingen dazu die entsprechenden Formeln und Faktoren zu „Grund-Piktogramm“ OL 2 in die Mittelung ein. Die entsprechenden Vorgänge mit den „Grund-Piktogrammen“ OL 5 und OL 7 sollten dann mittels der neu gebildeten Gleichungen abgedeckt werden. Für einhändige Handhabungen wurde entsprechend mit den Formeln und Faktoren zu „Grund-Piktogramm“ OL 4 bzw. allen Kombinationen, in denen als Händigkeit „einhändig“ vermerkt war, verfahren. Belastungskombinationen, die die Piktogramme OL 1 und OL 3 beinhalteten, wurden weiterhin als „körperferne“ bzw. „asymmetrische“ Handhabung mit entsprechenden Faktoren belegt.

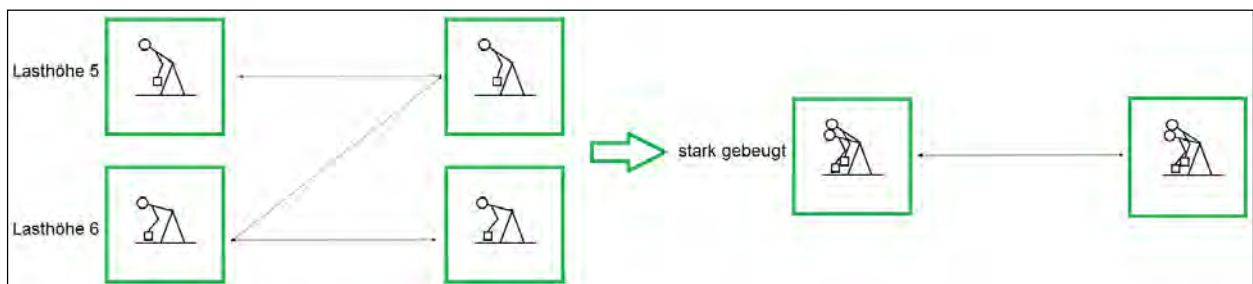


Abbildung 4.2.1-5: Beispiel für die Zusammenfassung von Vorgängen

Für alle Trage- und Haltetätigkeiten wurden fünf „Grund-Piktogramme“ festgelegt (Abbildung 4.2.1-6), deren Formeln alle Trage- und Haltevorgänge abdecken sollten.

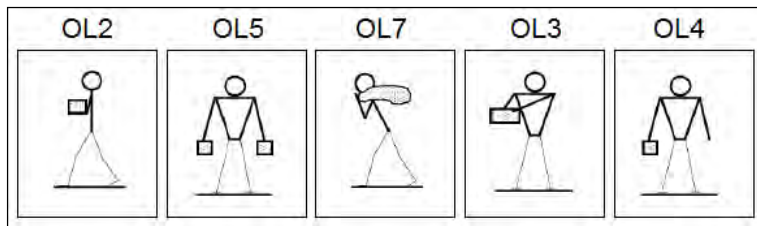


Abbildung 4.2.1-6: „Grund-Piktogramme“ für Tragen und Halten

Auf diese Weise erfolgte eine Reduzierung des Formelsatzes auf insgesamt 22 Gleichungen (jeweils sechs Formeln für beidhändiges bzw. einhändiges Heben/Absenken/Umsetzen sowie jeweils fünf Formeln für Tragen und Halten) und Faktoren für „körperfernes“ und „asymmetrisches“ Heben/Absenken/Umsetzen.

e) Festlegung eines Faktors für „einhändiges Heben/Absenken/Umsetzen“

Im nächsten Schritt wurden die Gleichungen für einhändige Hebe-/Absenk-/Umsetzvorgänge vernachlässigt und durch einen Faktor zur entsprechenden beidhändigen Handhabung ersetzt. Auf diese Weise ließ sich der Formelsatz auf 16 Gleichungen (sechs Gleichungen für beidhändiges Heben/Absenken/Umsetzen sowie jeweils fünf Formeln für Tragen und Halten) und jeweils Faktoren für „einhändiges“, „körperfernes“ und „asymmetrisches“ Heben/Absenken/Umsetzen reduzieren.

f) Optimierung der Faktoren

Zur biomechanischen Optimierung der Faktoren für „einhändiges“, „körperfernes“ und „asymmetrisches“ Heben/Absenken/Umsetzen wurden diese nun nicht mehr auf die Gesamtformel bezogen, sondern jeweils nur auf die „Lastgewichtskomponente“ (Steigung m) der einzelnen Formeln. Die Anzahl der einzelnen Gleichungen und Faktoren blieb davon unberührt.

g) Weitere Zusammenfassung von Piktogrammen für Tragen und Halten

Aufgrund ähnlicher Formeln für verschiedene Trage- und Haltevorgänge wurden die entsprechenden Piktogramme nochmals zusammengefasst und die Anzahl der entsprechenden Bestimmungsgleichungen somit weiter reduziert (Abbildung 4.2.1-7 und 4.2.1-8). Der endgültige Formelsatz umfasst somit 11 Bestimmungsgleichungen (sechs Gleichungen für beidhändiges Heben/Absenken/Umsetzen, drei Gleichungen für Tragen und zwei Gleichungen für Halten) und vier Faktoren (jeweils ein Faktor für „einhändiges“ und „asymmetrisches“ Heben/Absenken/Umsetzen, zwei Faktoren für „körperfernes“ Heben/Absenken/Umsetzen in zwei unterschiedlichen Oberkörperneigungen).

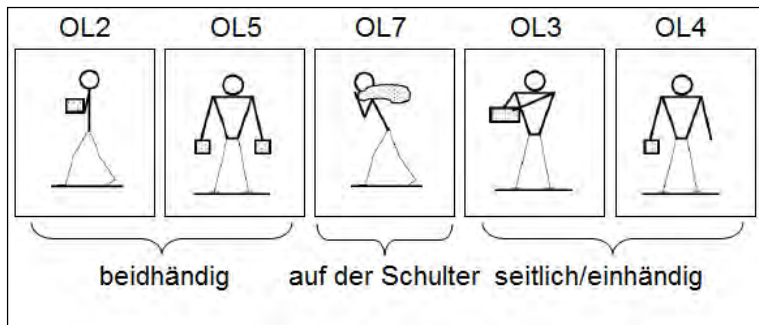


Abbildung 4.2.1-7: Zusammenfassung von Trage-Piktogrammen

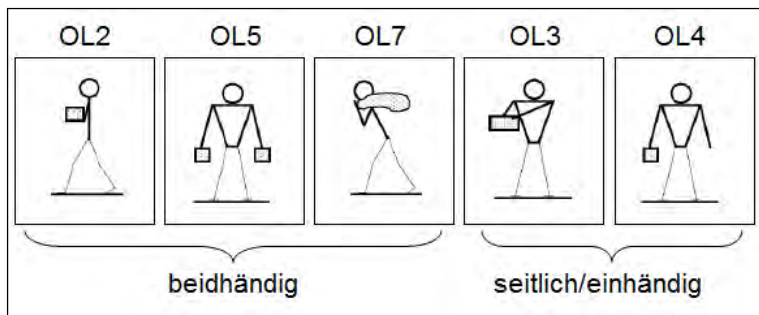


Abbildung 4.2.1-8: Zusammenfassung von Halte-Piktogrammen

4.2.2 Validierung der auf Grundlage der Bestimmungsgleichungen ermittelten Expositionswerte

Um die Güte der Expositionswerte, die auf Grundlage der entwickelten Bestimmungsgleichungen berechnet wurden, zu bestimmen, sollte diese mit den aus der biomechanischen Simulation berechneten Expositionswerten verglichen werden. Als „Gold-Standard“ für diesen Vergleich standen die Tagesdosen der relevanten Arbeitsschichten zur Verfügung, denen mittels biomechanischer Modellrechnung ermittelte Druckkräfte zu Grunde lagen („IfA-Do-Datensatz“). Als „relevant“ galten alle Arbeitsschichten, die mindestens eine der in der Studie untersuchten Belastungen aufwiesen.

4.2.2.1 Festlegung der zu vergleichenden Tagesdosen

Nicht alle in der DWS1 untersuchten Belastungen waren auch Gegenstand der Ableitung von Bestimmungsgleichungen. Die in den Bereichen Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Pflege verwendeten „Sondermodule“ zählen ebenso hierzu wie Belastungen durch manuelle Kraftaufwendungen sowie Ziehen, Schieben, Fangen und Werfen von Lasten. Zur Validierung der

auf Grundlage der Bestimmungsgleichungen ermittelten Expositionswerte waren die genannten Belastungen deshalb gesondert zu behandeln.

a) Tätigkeiten aus den Bereichen Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Pflege

Die Tagesdosen aller Probanden, die irgendwann in den genannten Bereichen tätig waren bzw. für die mindestens einmal Daten aus den entsprechenden Sondermodulen vorlagen, wurden nicht in den Vergleich mit einbezogen.

b) Tätigkeiten mit konstanten Druckkraftwerten

Die entsprechenden Tätigkeiten (z. B. Oberkörperhaltungen, Schaufeltätigkeiten) wurden mit ihren Druckkraftwerten, Zeitdauern und Häufigkeiten in die Ermittlung der Tagesdosen übernommen.

c) Manuelle Kraftaufwendungen, Ziehen, Schieben, Fangen und Werfen von Lasten

Die den genannten Belastungen zugeordneten Druckkraftwerte, Zeitdauern und Häufigkeiten wurden zur Berechnung der Tagesdosen übernommen.

4.2.2.2 Statistische Verfahren

Zum Vergleich der jeweils mittels biomechanischer Modellrechnungen ermittelten Tagesdosen (TD_{Modell}) und der auf Grundlage der abgeleiteten Bestimmungsgleichungen berechneten Tagesdosen (TD_{Formel}) kamen unterschiedliche statistische Verfahren zum Einsatz: lineare Regression und Bestimmtheitsmaß R^2 , Intra-Class-Correlation (ICC) und Bland-Altman Plots (Bland und Altman 1986, 1995). Hinweise zu den Vor- und Nachteilen der einzelnen Verfahren sind bei Grouven et al. (2007) zusammengestellt. Da insbesondere der Anteil an Tagesdosen mit einer prozentualen Abweichung von höchstens $\pm 10 \%$ von Interesse war, wurden diese in Form von Histogrammen dargestellt.

4.2.3 Analyse von Einzelbelastungen

Zur Identifizierung bestimmter Belastungen innerhalb der einzelnen Probandengruppen erfolgte eine Analyse relevanter „äußerer“ Wirbelsäulenbelastungen (Vorkommen, Häufigkeit), ohne Berücksichtigung der „inneren“ Wirbelsäulenbelastung (Druckkräfte), wie sie zur Herleitung von Schwellwerten und Bestimmungsgleichungen genutzt wurden.

Als relevante Belastungen galten im Bereich der Lastenhandhabung die Expositionen „Heben/Absenken/Umsetzen“, „Tragen“, „Halten“ und „Ziehen/Schieben“, im Bereich der belastungsintensiven Körperhaltungen die Rumpfbeugen in den Winkelbereichen „ $\geq 45^\circ$ “, „ $\geq 75^\circ$ “ und „ $\geq 90^\circ$ “. Für die Lastenhandhabung erfolgte bei hinreichend stark besetzten Probandenkategorien zusätzlich eine Auswertung zu den Lastgewichtsklassen ≥ 20 kg (Männer) bzw. ≥ 10 kg (Frauen). (Anmerkung: Auswertungen für die genannten Subgruppen wurden nur dann ausgeführt, wenn der Median der berechneten Tages- und Jahreswerte für die gesamte Gruppe größer Null war).

Das Vorkommen der einzelnen Belastungen wurde jeweils bejaht, wenn sie mindestens einmal während des gesamten Berufslebens auftraten. Die Quantifizierung der einzelnen Belastungen erfolgte individuell durch Kumulation der Expositionen über das gesamte Berufsleben und anschließendes Dividieren durch die Anzahl der Berufsjahre, so dass der durchschnittliche Jahreswert vorlag. Durch dessen Division durch 220 ergab sich der standardisierte, durchschnittliche Tageswert. Für die manuellen Lastenhandhabungen wurde die Einheit Kilogramm x Sekunde [kg*s] bzw. zur besseren Veranschaulichung Tonnen x Sekunde [t*s] gewählt, für die Rumpfbeugehaltungen die Einheit Sekunde [s]. Als Kennwerte der deskriptiven Statistik wurden jeweils arithmetischer Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum, Maximum angegeben, bei ausreichend großer Probandenanzahl in den einzelnen Kategorien zusätzlich die Perzentile 5, 25, 75 und 95.

Die Auswertung der Einzelbelastungen erfolgte stufenweise für drei unterschiedliche Probandenkollektive:

- Alle TAD-Probanden: Ausgewertet wurden in einem ersten Schritt die 1.199 TAD-interviewten Probanden der Fallgruppen (FG1 bis FG4) sowie der männlichen (KGm) und weiblichen Kontrollen (KGw).
- Alle TAD-Probanden, mit Unterteilung der Kontrollen nach „Belastungsgrad“: Zu den TAD-interviewten Probanden gehörten 657 Fälle und 542 Kontrollen, wobei die Kontrollen hinsichtlich der Auslöseschwellen im DWS-Erstinterview nach Geschlecht und „Belastungsgrad“ in sechs Kategorien unterteilt wurden: „nicht belastete“ Kontrollen (KGm 1, KGw 1), „gering belastete“ Kontrollen (KGm 2, KGw 2) und „belastete“ Kontrollen (KGm 3, KGw 3). Von den „nicht-belasteten“ Probanden wurde eine Stichprobe von $n = 16$ Probanden, von den „gering-belasteten“ Probanden eine Stichprobe von $n = 27$ Probanden durch TAD-Interviewer befragt, so dass für die vorliegende Auswertung folgende Probandenzahlen zugrunde gelegt wurden: KGm 1: 7 von insg. 103; KGm 2: 16 von insg. 64, KGm 3: insg. 286; KGw 1: 9 von insg. 186; KGw 2: 11 von insg. 49; KGw 3: insg. 213. Jede dieser Untergruppen wurde zusätzlich separat analysiert.

- Alle TAD-Probanden und „Hochrechnung“ der TAD-Stichproben auf alle DWS-Kontrollen:
In einem letzten Schritt wurde der jeweils für die sechs Kontroll-Untergruppen errechnete Median auf die entsprechende Gesamtanzahl der DWS-Kontrollen (KGm ges, KGw ges) angewandt.

5 Ergebnisse des Gesamtvorhabens

5.1 Projektteil I

5.1.1 Entscheidung für eine lineare oder quadratische Gewichtung der Druckkraft bei der Berechnung der kumulativen Dosis („lineares“ oder „quadratisches“ Dosismodell)

Die Entscheidung für eine lineare oder quadratische Druckkraftwichtung erfolgte auf der Grundlage der im Kapitel 4.1.1 genannten Kriterien. Die Beurteilung der Anpassungsgüte eines „linearen“ verglichen mit einem „quadratischen“ Dosismodell wurde anhand der Dosismodelle 5 und 7 der Deutschen Wirbelsäulenstudie durchgeführt, da diesen beiden Modellen in der DWS1 eine relativ gute Anpassungsgüte zukam und da sich diese beiden Modelle ausschließlich hinsichtlich der Druckkraftwichtung unterschieden – alle anderen Eigenschaften dieser Modelle sind identisch. Da sich mit dem Einsatz der quadratischen Wichtung (Dosismodell 5) in allen Berechnungen eine bessere (oder zumindest nicht schlechtere) Anpassung (AIC-Kriterium, vgl. Kapitel 4.1.1) als mit dem Einsatz der linearen Wichtung (Dosismodell 7) ergab, fiel die Entscheidung bezüglich der weiteren Durchführung des Vorhabens zugunsten der quadratischen Wichtung aus. Um einer Entscheidung zum weiteren Umgang mit den kontinuierlichen Expositionsvariablen an dieser Stelle noch nicht vorzugreifen, wurden die AIC-Werte für drei unterschiedliche, in Kap. 4.1.2.1 beschriebene Methoden des Umgangs mit kontinuierlichen Variablen ermittelt (1. Polynome dritten Grades, 2. lokale Regressionsanalyse, 3. fraktionale Polynome zweiten Grades). Die AIC-Werte auf der Grundlage der kontinuierlichen Expositionsvariablen sind in der Tabelle 5.1.1-1 gelb markiert.

Neben der Modellierung als kontinuierliche Variable in der DWS-Richtwertestudie wurde zum Vergleich die Anpassungsgüte gemäß Akaike Information Criterion (AIC) getrennt für die vier Fallgruppen in der DWS1 unter Verwendung der kategorisierten Werte der Dosismodelle 5 und 7 berechnet. Die Berechnungen erfolgten auf der Grundlage der DWS1-Daten. Dies lieferte pro Dosismodell weitere vier AIC-Werte, die ebenfalls Tabelle 5.1.1-1 zu entnehmen sind (ohne Markierung). Weiterhin wurden zum Vergleich die AIC-Werte für das „Original-MDD“ (Dosismodell 2) errechnet (grau markiert in Tabelle 5.1.1-1), diese Berechnungen gingen nicht in die Entscheidung für eine lineare oder quadratische Druckkraftwichtung ein.

Im Ergebnis fanden sich auf der Grundlage der kontinuierlichen Variablen für alle vier Fallgruppen bei quadratischer Druckkraftwichtung (Dosismodell 5) niedrigere AIC-Werte als bei

linearer Druckkraftwichtung (Dosismodell 7, vergleiche dazu jeweils die gelb markierten Zellen in Tabelle 5.1.1-1). Dieses Ergebnis zeigte sich unabhängig von der Wahl der Modellierungsmethode. Somit wurde die Entscheidung für eine quadratische Druckkraftwichtung in allen weiteren Auswertungen der DWS-Richtwertestudie getroffen.

Tabelle 5.1.1.-1: AIC-Werte für lineare (DM 7) versus quadratische (DM 5) Wichtung

Dosis- modell	FG1*			FG2 [#]			FG 3*			FG 4 [#]		
	Polynome 3. Grades	lokale Re- gressions- analyse	fraktionale Polynome 2. Grades	Polynome 3. Grades	lokale Re- gressions- analyse	fraktionale Polynome 2. Grades	Polynome 3. Grades	lokale Re- gressions- analyse	fraktionale Polynome 2. Grades	Polynome 3. Grades	lokale Re- gressions- analyse	fraktionale Polynome 2. Grades
DM 2 („MDD“)	971,0	961,0	960,1	975,2	990,4	969,0	642,6	639,6	638,5	743,2	746,8	739,3
	(Kat.§: 960,6)			(Kat.§: 974,2)			(Kat.§: 642,8)			(Kat.§: 743,0)		
DM 5	951,4	942,1	946,9	961,4	954,4	952,9	632,4	627,3	627,6	726,0	723,3	718,3
	(Kat.§: 945,7)			(Kat.§: 958,3)			(Kat.§: 632,7)			(Kat.§: 726,8)		
DM 7	976,3	948,1	950,3	968,8	956,9	953,1	635,8	634,5	627,6	736,1	726,6	722,2
	(Kat.§: 943,0)			(Kat.§: 956,1)			(Kat.§: 635,2)			(Kat.§: 729,7)		

* adjustiert für ALT_KT, ZENTRUM, BMI_KT, GK1K_KT, GICHT, SCHEUER (Basisconfounder)

[#] adjustiert für ALT_KT, ZENTRUM, GK1_KT (Basisconfounder)

§ zum Vergleich: AIC-Wert für kategorisierte Variable gemäß DWS-Endbericht

5.1.2 Auswahl eines geeigneten „Grundmodells“

5.1.2.1 Berechnung und Interpretation der AIC-Werte für die kontinuierlichen Dosiswerte der Modelle 4, 5 und 6 mit verschiedenen Verfahren

Nach der Entscheidung für ein Dosismodell mit quadratischer Wichtung der Druckkraft entfiel Dosismodell 7 aus der weiteren Betrachtung. Das MDD in seiner ursprünglichen Form hatte sich bereits im Ergebnis der DWS1 als nicht hinreichend tragfähig zur Beschreibung des Dosis-Wirkungs-Zusammenhangs erwiesen.

Für die verbleibenden drei Dosismodelle 4, 5 und 6 (als kontinuierliche Variable) wurde die Anpassungsgüte gemäß AIC getrennt für die vier Fallgruppen mit den unter 4.1.2.1. beschriebenen drei Methoden berechnet. Für jedes Dosismodell wurden somit zwölf AIC-Werte berechnet (jeweils Methode 1, 2 und 3 für jede der vier Fallgruppen). Die Ergebnisse dieser Berechnung finden sich in Tabelle 5.1.2-1.

5.1.2.2 Entscheidung für ein Grundmodell

Die Wahl eines für die weiteren Betrachtungen geeigneten Grundmodells folgte den in Kapitel 4.1.2.2 formulierten drei Entscheidungskriterien. Dabei wurde dem Kriterium der möglichst „mittleren“ Schwellen eine besondere Bedeutung zugemessen: Dieses Kriterium besagt, dass grundsätzlich ein Grundmodell zu bevorzugen ist, das eine Veränderung der Schwellen nach unten wie nach oben ermöglicht. Mit Ausnahme von zwei Berechnungen wies immer das Dosismodell 4 den niedrigsten AIC-Wert auf; einmal wies das DM 5, einmal das DM 6 den niedrigsten AIC-Wert auf. Das Dosismodell 6 wies i. d. R. die höchsten AIC-Werte auf und einen deutlich höheren AIC-Unterschied zum Dosismodell mit dem durchschnittlich niedrigsten AIC-Wert (DM 4) auf als das DM 5. Dosismodell 6 erfüllte damit keines der drei festgelegten Kriterien und kam daher nicht als Grundmodell in Frage; zur Erläuterung wird angemerkt, dass die Ausführungen im Forschungsantrag – wenn auch als Beispiel genannt – von Dosismodell 6 als Grundmodell ausgegangen sind. Das Dosismodell 4 weist zwar eine deutlich bessere Anpassung als das Dosismodell 6 und überwiegend auch eine etwas bessere Anpassung als das Dosismodell 5 auf, hat aber im Unterschied zu den Dosismodellen 5 und 6 geringere Variationsmöglichkeiten der Schwellen nach oben und unten. Da diesem Aspekt eine besondere Bedeutung zugemessen wurde, wurde dem Dosismodell 5 der Vorzug gegeben: Das Dosismodell 5 eröffnet im Unterschied zum Dosismodell 4 Variationsmög-

lichkeiten nach oben und unten und erzielt darüber hinaus eine deutlich bessere Anpassung als das Dosismodell 6 (Tabelle 5.1.2-1).

Tabelle 5.1.2.-1: AIC-Werte für die drei bei quadratischer Wichtung der Druckkraft möglichen Grundmodelle DM 4, 5 und 6

Dosis- modell	FG1*			FG2 [#]			FG 3*			FG 4 [#]		
	Polynome 3. Grades	lokale Re- gressions- analyse	fraktionale Polynome 2. Grades	Polynome 3. Grades	lokale Re- gressions- analyse	fraktionale Polynome 2. Grades	Polynome 3. Grades	lokale Re- gressions- analyse	fraktionale Polynome 2. Grades	Polynome 3. Grades	lokale Re- gressions- analyse	fraktionale Polynome 2. Grades
DM 4	947,7	943,6	944,8	956,7	952,3	951,7	629,2	625,1	626,1	724,0	722,5	718,9
	(Kat.§: 950,5)			(Kat.§: 958,0)			(Kat.§: 628,1)			(Kat.§: 726,2)		
DM 5	951,4	942,1	946,9	961,4	954,4	952,9	632,4	627,3	627,6	726,0	723,3	718,3
	(Kat.§: 945,7)			(Kat.§: 958,3)			(Kat.§: 632,7)			(Kat.§: 726,8)		
DM 6	955,9	941,7	947,5	965,8	955,3	952,6	634,1	628,2	629,3	729,9	726,5	722,1
	(Kat.§: 949,9)			(Kat.§: 955,2)			(Kat.§: 632,0)			(Kat.§: 723,9)		

* adjustiert für ALT_KT, ZENTRUM, BMI_KT, GK1K_KT, GICHT, SCHEUER (Basisconfounder)

[#] adjustiert für ALT_KT, ZENTRUM, GK1_KT (Basisconfounder)

§ zum Vergleich: AIC-Wert für kategorisierte Variable gemäß DWS-Endbericht

5.1.2.3 Entscheidung für den weiteren Umgang mit kontinuierlichen Variablen

Tabelle 5.1.2-1 bildet neben den aus der DWS1 entnommenen Ergebnissen zu kategorialen Dosiswerten die mit den drei Methoden des Umgangs mit kontinuierlichen Variablen (Polynome 3. Grades, lokale Regressionsanalyse, fraktionale Polynome, vgl. Kapitel 4.1.2.1) erzielten Ergebnisse bezüglich des gewählten AIC-Entscheidungskriteriums ab. Es wird zunächst deutlich, dass der Umgang mit kontinuierlichen Variablen überwiegend bessere AIC-Werte liefert als dies für kategorisierte Variable der Fall ist (DM4: 1 Ausnahme, DM5: 3 Ausnahmen, DM6: sechs Ausnahmen, d. h. nur in zehn der möglichen 36 Fälle liefern kategoriale Daten kleinere AIC-Werte als kontinuierliche). Insbesondere ergeben sich für die Anpassung mit fraktionalen Polynomen 2. Grades fast immer bessere AIC-Werte als für die Anpassung mit kategorisierten Variablen (nur eine Ausnahme: DM 5, FG 1).

Aufgrund der im Vergleich mit den Polynomen 3. Grades in allen vier Fallgruppen deutlich besseren Anpassungsgüte wie auch der besseren Handhabbarkeit im Vergleich mit der lokalen Regressionsanalyse wurde der Verwendung fraktionaler Polynome für die weitere Modellierung der Dosis-Wirkungs-Beziehungen der Vorzug gegeben. Im weiteren Verlauf wurden die Modellbildungen parallel mit fraktionalen Polynomen 2. und 4. Grades durchgeführt; dabei wurde die Analyse mit fraktionalen Polynomen 2. Grades zunächst als Hauptanalyse und die Analyse mit fraktionalen Polynomen 4. Grades zunächst als Sensitivitätsanalyse verstanden.

5.1.2.4 Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung

A priori war Folgendes festgelegt worden (siehe Kap. 4.1.2.4): Sollte das veränderte Konzept der Schwellenwertprüfung (Teil A) eine bessere Anpassungsgüte ergeben als das ursprünglich vorgesehene Konzept der Schwellenwertprüfung (unter Berücksichtigung der im Teil B vorgenommenen Modifikationen), dann sollte im weiteren Verlauf der DWS-Richtwertestudie das im Teil A entwickelte Verfahren der Schwellenwertprüfung eingesetzt werden.

Da die Diskussion des geeigneten Confoundersatzes zum Zeitpunkt der Durchführung der Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung noch nicht abgeschlossen war, erfolgte die Berechnung der AIC-Werte an dieser Stelle noch mit Adjustierung für die Basisconfounder (ent-

sprechend dem DWS-Abschlussbericht bei Männern: Body-Mass-Index, Ganzkörperschwingungen, Morbus Scheuermann, Gicht; bei Frauen: Ganzkörperschwingungen)¹⁴.

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung finden sich in den Tabellen 5.1.2-2 bis 5.1.2-5; dazu wurden zwei Dosismodelle mit deutlich verschiedenen Schwellenwert-Ausprägungen verwendet: einerseits das eher restriktive „Original-MDD“ (Dosismodell 2) und andererseits das mit erheblich niedrigeren Schwellenwerten verbundene, inzwischen als Grundmodell definierte, Dosismodell 5. Dargestellt ist jeweils (links) die Rangfolge der AIC-Werte für die Hauptanalyse mit fraktionalen Polynomen 2. Grades (FP2) sowie (rechts) die Rangfolge der AIC-Werte für die Sensitivitätsanalyse mit fraktionalen Polynomen 4. Grades (FP4). Unterschiede in den FP2-AIC-Werten zwischen Hauptanalyse (mit Programmpaket R) und Sensitivitätsanalyse (mit Programmpaket STATA) lassen sich im Wesentlichen darauf zurückführen, dass in der Sensitivitätsanalyse Datenseparationen aufgrund z. T. unbalancierter Basisconfounder durch einen Ausschluss entsprechender Variablen und Person(en) durchgeführt wurden. Zudem wurden die Daten in der Sensitivitätsanalyse vor den Modellberechnungen mit einer empfohlenen Skalentransformation stabilisiert, um eine höhere numerische Sicherheit zu erreichen (Royston und Sauerbrei 2008).

Sowohl die Ergebnisse der Hauptanalyse mit fraktionalen Polynomen 2. Grades als auch die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse mit fraktionalen Polynomen 4. Grades lassen – unter Berücksichtigung der statistischen Variabilität – beim Vergleich der jeweils besten Modelle auf Grundlage der AIC-Werte für keine Fallgruppe eine verbesserte Anpassung mit Teil A der Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung (dosisrelevanter Druckkraftanteil: „Schwellenwert-Überschuss“) oder mit Teil B der Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung („Basiswert-Abzug“) im Vergleich mit der bisherigen Vorgehensweise bei der DWS („Vollwert-Berücksichtigung“) erkennen (Tabellen 5.1.2-2 bis 5.1.2-5): Dies wurde daraus geschlossen, dass sich unter den best-anpassenden Modellen auch sogenannte DWS-Modelle befinden (s. Fettdruck). Allerdings ergibt sich auch für die Modelle ohne geänderte Behandlung der Druckkraftschwelle keine statistische Überlegenheit gegenüber den Modellen nach Teil A und B.

Somit liefern im Ergebnis der Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung die veränderten Konzepte der Schwellenwertprüfung (Teil A und Teil B der Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung) keine verbesserte Anpassungsgüte. Damit wird im weiteren Verlauf der DWS-Richtwertestudie das ursprünglich vorgesehene (und in der DWS1 eingesetzte) Konzept der

¹⁴ Letztendlich erfolgte die Ermittlung der am besten anpassenden Modelle unter Adjustierung ausschließlich für Alter und Geschlecht.

Schwellenwertdefinition angewendet, d. h., der gesamte, jeweils vorgangsspezifische Wert der Bandscheiben-Druckkraft wird unverändert bei der Dosiskumulation einbezogen („Vollwert-Berücksichtigung“).

Tabelle 5.1.2-2: Fallgruppe 1: AIC-Werte für unterschiedliche Ansätze der Schwellenwertprüfung, Hauptanalyse mit fraktionalen Polynomen 2. Grades, Sensitivitätsanalyse mit fraktionalen Polynomen 4. Grades, Dosismodelle 2 und 5. 95 %-Konfidenzmengen fett hervorgehoben (berechnet über Akaike-Gewichte)

Ansatz der Schwellenwertbehandlung, Dosismodell, Grad des fraktionalen Polynoms	Hauptanalyse		Sensitivitätsanalyse		
	AIC-Rang	AIC	AIC-Rang	AIC	Σ AIC-Gewichte
<i>Teil B, DM 5, FP 4</i>	-		1	940,6	0,416
<i>DWS, DM 5, FP 4</i>	-		2	941,4	0,698
<i>DWS, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		3	942,8	0,835
<i>Teil A, DM 5, FP 4</i>	-		4	943,7	0,924
<i>Teil B, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		kein Bestmodell	944,9	0,973
DWS, DM 5, FP 2	1	948,5	kein Bestmodell	948,5	0,981
DWS, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 2	2	949,3	kein Bestmodell	949,3	0,987
Teil B, DM 5, FP 2	3	949,6	kein Bestmodell	949,6	0,991
Teil A, DM 5, FP 2	4	950,2	kein Bestmodell	950,2	0,995
Teil B, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 2	5	950,4	kein Bestmodell	950,4	0,998
<i>Teil B, DM 2 mit angepasster Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		kein Bestmodell	952,4	0,999
Teil B, DM 2 mit angepasster Tagesdosisschwelle, FP 2	kein Bestmodell		kein Bestmodell	955,0	0,999
Teil A, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 2	kein Bestmodell		kein Bestmodell	955,5	1,000
<i>DWS, DM 2, FP 4</i>	-		kein Bestmodell	956,0	1,000
<i>Teil A, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		kein Bestmodell	956,4	1,000
DWS, DM 2, FP 2	kein Bestmodell		kein Bestmodell	958,2	1,000
Teil A, DM 2 mit angepasster Tagesdosisschwelle, FP 2	kein Bestmodell		kein Bestmodell	960,8	1,000
<i>Teil A, DM 2 mit angepasster Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		kein Bestmodell	962,9	1,000

Legende: FP 2 = fraktionales Polynom des Grades 2, FP 4 = fraktionales Polynom des Grades 4; DM = Dosismodell, AIC = Akaike Information Criterion
 Adjustiert wurde für die Basisconfounder (Variablen im Kerndatensatz: ALT_KT, ZENTRUM, GK1_KT, GICHT, SCHEUER)

Tabelle 5.1.2-3: Fallgruppe 2: AIC-Werte für unterschiedliche Ansätze der Schwellenwertprüfung, Hauptanalyse mit fraktionalen Polynomen 2. Grades, Sensitivitätsanalyse mit fraktionalen Polynomen 4. Grades, Dosismodelle 2 und 5. 95 %-Konfidenzmengen fett hervorgehoben (berechnet über Akaike-Gewichte)

Ansatz der Schwellenwertbehandlung, Dosismodell, Grad des fraktionalen Polynoms	Hauptanalyse		Sensitivitätsanalyse		
	AIC-Rang	AIC	AIC-Rang	AIC	Σ AIC-Gewichte
<i>Teil A, DM 5, FP 4</i>	-		1	943,7	0,864
<i>DWS, DM 5, FP 4</i>	-		2	950,1	0,901
<i>Teil B, DM 5, FP 4</i>	-		3	951,1	0,922
Teil A, DM 5, FP 2	1	951,6	4	951,4	0,941
Teil B, DM 5, FP 2	2	951,9	kein Bestmodell	951,7	0,976
DWS, DM 5, FP 2	3	952,2	kein Bestmodell	952,2	0,989
<i>Teil B, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		<i>kein Bestmodell</i>	<i>954,2</i>	<i>0,993</i>
DWS, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 2	4	956,0	kein Bestmodell	955,7	0,996
Teil A, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 2	kein Bestmodell		kein Bestmodell	951,4	0,960
<i>DWS, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		<i>kein Bestmodell</i>	<i>956,1</i>	<i>0,997</i>
Teil B, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 2	kein Bestmodell		kein Bestmodell	956,3	0,999
Teil A, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 2	kein Bestmodell		kein Bestmodell	957,5	1,000
<i>Teil B, DM 2 mit angepasster Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		<i>kein Bestmodell</i>	<i>961,3</i>	<i>1,000</i>
Teil B, DM 2 mit angepasster Tagesdosisschwelle, FP 2	kein Bestmodell		kein Bestmodell	962,7	1,000
<i>Teil A, DM 2 mit angepasster Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		<i>kein Bestmodell</i>	<i>966,1</i>	<i>1,000</i>
DWS, DM 2, FP 2	kein Bestmodell		kein Bestmodell	970,7	1,000
<i>DWS, DM 2, FP 4</i>	-		<i>kein Bestmodell</i>	<i>971,0</i>	<i>1,000</i>
Teil A, DM 2 mit angepasster Tagesdosisschwelle, FP 2	kein Bestmodell		kein Bestmodell	971,2	1,000

Legende: FP 2 = fraktionales Polynom des Grades 2, FP 4 = fraktionales Polynom des Grades 4; DM = Dosismodell, AIC = Akaike Information Criterion
 Adjustiert wurde für die Basisconfounder (Variablen im Kerndatensatz: ALT_KT, ZENTRUM, GK1_KT). Geringe Unterschiede der AIC-Werte zwischen Hauptanalyse und Sensitivitätsanalyse könnten auf die Verwendung einer unterschiedlichen Software zurückzuführen sein

Tabelle 5.1.2-4: Fallgruppe 3: AIC-Werte für unterschiedliche Ansätze der Schwellenwertprüfung, Hauptanalyse mit fraktionalen Polynomen 2. Grades, Sensitivitätsanalyse mit fraktionalen Polynomen 4. Grades, Dosismodelle 2 und 5. 95 %-Konfidenzmengen fett hervorgehoben (berechnet über Akaike-Gewichte)

Ansatz der Schwellenwertbehandlung, Dosismodell, Grad des fraktionalen Polynoms	Hauptanalyse		Sensitivitätsanalyse		
	AIC-Rang	AIC	AIC-Rang	AIC	Σ AIC-Gewichte
<i>Teil B, DM 5, FP 4</i>	-		1	625,4	0,286
DWS, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 2	1	629,3	2	627,3	0,395
DWS, DM 5, FP 2	2	629,5	3	627,3	0,502
Teil B, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 2	3	629,8	4	627,8	0,589
Teil B, DM 5, FP 2	4	629,9	5	627,8	0,675
<i>DWS, DM 5, FP 4</i>	-		6	627,8	0,758
<i>DWS, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		7	628,5	0,818
<i>Teil B, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		8	628,9	0,865
<i>Teil A, DM 5, FP 4</i>	-		9	629,6	0,900
Teil A, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 2	5	631,6	10	630,0	0,929
Teil A, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 2	kein Bestmodell	kein Bestmodell	kein Bestmodell	630,0	0,957
Teil A, DM 5, FP 2	6	632,2	kein Bestmodell	630,2	0,983
<i>Teil A, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		kein Bestmodell	632,8	0,990
<i>Teil A, DM 2 mit angepasster Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		kein Bestmodell	633,5	0,995
DWS, DM 2, FP 2	kein Bestmodell	kein Bestmodell	kein Bestmodell	634,1	0,998
<i>DWS, DM 2, FP 4</i>	-		kein Bestmodell	636,7	0,999
Teil B, DM 2 mit angepasster Tagesdosisschwelle, FP 2	kein Bestmodell	kein Bestmodell	kein Bestmodell	637,5	1,000
<i>Teil B, DM 2 mit angepasster Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		kein Bestmodell	640,4	1,000

Legende: FP 2 = fraktionales Polynom des Grades 2, FP 4 = fraktionales Polynom des Grades 4; DM = Dosismodell, AIC = Akaike Information Criterion
 Adjustiert wurde für die Basisconfounder (Variablen im Kerndatensatz: ALT_KT, ZENTRUM, GK1_KT, GICHT, SCHEUER). Unterschiede von etwa 2 AIC-Punkten zwischen Hauptanalyse und Sensitivitätsanalyse lassen sich darauf zurückführen, dass bei der Sensitivitätsanalyse eine Person ausgeschlossen wurde

Tabelle 5.1.2-5: Fallgruppe 4: AIC-Werte für unterschiedliche Ansätze der Schwellenwertprüfung, Hauptanalyse mit fraktionalen Polynomen 2. Grades, Sensitivitätsanalyse mit fraktionalen Polynomen 4. Grades, Dosismodelle 2 und 5. 95 %-Konfidenzmengen fett hervorgehoben (berechnet über Akaike-Gewichte)

Ansatz der Schwellenwertbehandlung, Dosismodell, Grad des fraktionalen Polynoms	Hauptanalyse		Sensitivitätsanalyse		
	AIC-Rang	AIC	AIC-Rang	AIC	Σ AIC-Gewichte
Teil A, DM 5, FP 2	1	717,3	1	715,3	0,332
<i>Teil A, DM 5, FP 4</i>	-		2	716,0	0,570
Teil B, DM 5, FP 2	2	719,2	3	717,2	0,699
DWS, DM 5, FP 2	3	719,4	4	717,4	0,816
<i>Teil B, DM 5, FP 4</i>	-		5	719,6	0,855
DWS, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 2	4	721,9	6	719,9	0,889
Teil B, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 2	5	722,1	7	720,1	0,920
<i>DWS, DM 5, FP 4</i>	-		8	720,4	0,945
<i>DWS, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		<i>kein Bestmodell</i>	721,2	0,963
<i>Teil B, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		<i>kein Bestmodell</i>	721,2	0,980
Teil A, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 2	kein Bestmodell		kein Bestmodell	722,1	0,992
<i>Teil A, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		<i>kein Bestmodell</i>	723,1	0,998
Teil B, DM 2 mit angepasster Tagesdosisschwelle, FP 2	kein Bestmodell		kein Bestmodell	727,2	0,999
<i>Teil B, DM 2 mit angepasster Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		<i>kein Bestmodell</i>	727,5	1,000
Teil A, DM 2 mit angepasster Tagesdosisschwelle, FP 2	kein Bestmodell		kein Bestmodell	737,3	1,000
<i>DWS, DM 2, FP 4</i>	-		<i>kein Bestmodell</i>	738,1	1,000
<i>Teil A, DM 2 ohne Tagesdosisschwelle, FP 4</i>	-		<i>kein Bestmodell</i>	738,7	1,000
DWS, DM 2, FP 2	kein Bestmodell		kein Bestmodell	739,4	1,000

Legende: FP 2 = fraktionales Polynom des Grades 2, FP 4 = fraktionales Polynom des Grades 4; DM = Dosismodell, AIC = Akaike Information Criterion
 Adjustiert wurde für die Basisconfounder (Variablen im Kerndatensatz: ALT_KT, ZENTRUM, GK1_KT). Unterschiede von etwa 2 AIC-Punkten zwischen Hauptanalyse und Sensitivitätsanalyse lassen sich darauf zurückführen, dass bei der Sensitivitätsanalyse eine Person ausgeschlossen wurde

5.1.3 Ermittlung der Bestmodelle auf der Grundlage der biomechanischen Abschätzung der Wirbelsäulenbelastungen für unterschiedliche Schwellenwert-Kombinationen

5.1.3.1 Biomechanische Abschätzung der schichtbezogenen Wirbelsäulenbelastungen für verschiedene Tagesdosismodelle

Analog zum Mainz-Dortmunder Dosismodell sowie zur Deutschen Wirbelsäulenstudie wurde die schichtbezogene „kumulative Wirbelsäulenbelastung“ auch in der DWS-Richtwertestudie auf Grundlage der Häufigkeit von in der jeweiligen Schicht vorkommenden „belastungsrelevanten“ Arbeitssituationen sowie der korrespondierenden „situativen Wirbelsäulenbelastung“ bestimmt. Dazu wurde das innerhalb der DWS1 erstellte Programmsystem für die aktuellen Fragestellungen adaptiert, d. h., die Veränderungen bezüglich der Kriterien zur Relevanz einer Belastungssituation, die in Kap. 4.1.3 beschrieben sind und durch die die Einbeziehung oder Nichteinbeziehung einer Belastung einer Arbeitssituation bei der schichtbezogenen Dosiskumulation entschieden wird, wurden entsprechend den jeweils aktuell neu definierten Eigenschaftskriterien der Tagesdosis-Modelle nach und nach eingepflegt.

Da während der Projektlaufzeit der DWS1 die Durchführung einer Folgestudie, d. h. der DWS-Richtwertestudie, nicht absehbar war, waren bei der Berechnung der seinerzeitigen schichtbezogenen Dosiswerte keine Protokolldateien mit allen Angaben eines jeden Vorgangs für jede Person für jedes zugrunde gelegte Tagesdosis-Modell angelegt worden. Insbesondere wurden auch die als Zwischenergebnis fungierenden Druckkraftwerte, die aus den Angaben der Technischen Aufsichtsdiene zu externen Belastungsfaktoren wie Rumpfvorneigung und Position des Lastobjekts relativ zum Körper mit Hilfe von biomechanischen Modellrechnungen mit dem Werkzeug „Der Dortmunder“ bestimmt wurden, nicht protokolliert. Demzufolge wurden die biomechanischen Modellrechnungen zur Bestimmung der vorgangsspezifischen Bandscheiben-Druckkräfte wiederholt, inzwischen als notwendig oder sinnvoll angesehene Aktualisierungen berücksichtigt und nachfolgend die schichtbezogene kumulative Wirbelsäulenbelastung bestimmt.

Die in Kapitel 4.1.3.1 abgeleiteten 18 verschiedenen Dosismodelle wurden nach dem im Folgenden dargelegten Muster nummeriert. Zur besseren Unterscheidung von den Modellen 1 bis 10 in der DWS1 wurde mit 100er Nummern begonnen. Zur ersten Modellgruppe (Nr. 101 bis 108) zählen die Modelle mit Variation der Tagesdosisschwelle, zur zweiten Modellgruppe (Nr. 101 sowie 109 bis 113) diejenigen mit verschiedenen Druckkraftschwellen, in der dritten Modellgruppe (Nr. 101 sowie 114 bis 116) wurde die Schwelle zur Rumpfvorneigung variiert,

die vierte Modellgruppe geht nur auf das alternative Aus- oder Einschließen von Lastenhandhabungen ein, die nicht als Hebe- oder Tragetätigkeiten bezeichnet werden (Nr. 101 vs. 117), und die fünfte Modellgruppe vergleicht das BSG- mit dem Grundmodell (Nr. 101 vs. 118). Tabelle 5.1.3-1 fasst dies in übersichtlicher Weise zusammen.

Tabelle 5.1.3-1: Übersicht der separat variierten Eigenschaften der in der DWS-Richtwertestudie zunächst verwendeten 18 Dosismodelle (Nr. 101-118) zur Berechnung der Schichtdosis, ausgehend von den durch Fettdruck hervorgehobenen Eigenschaften des „Grundmodells“ 101, dessen Eigenschaften identisch mit denen von Dosismodell 5 der DWS1 sind

Modellgruppe	Dosismodell Nr.	Schwelle Tagesdosis	Schwelle Druckkraft	Schwelle Rumpfvorneigung	Ziehen/Schieben Fangen/Werfen Kraftaufwendung
1	101	0 kNh	2,0 kN	45°	mit
	102	2,0 kNh			
	103	3,0 kNh			
	104	4,0 kNh			
	105	5,0 kNh			
	106	6,0 kNh			
	107	8,0 kNh			
	108	10,0 kNh			
2	101	0 kNh	2,0 kN	45°	mit
	109		2 ¼ kN		
	110		2 ½ kN		
	111		2 ¾ kN		
	112		3,0 kN		
	113		3 ¼ kN		
3	114	0 kNh	2,0 kN	20°	mit
	101			45°	
	115			75°	
	116			90°	
4	117	0 kNh	2,0 kN	45°	ohne
	101				mit
5	118 (M)	0 kNh	2,7 kN	90°	ohne
	101		2,0 kN	45°	mit

In den folgenden Unterabschnitten werden eine Reihe von Übersichten vorgestellt, die die Wirkung der Anwendung der verschiedenen Kriterien auf die etwa 9.000 Tagesdosiswerte

verdeutlichen; dazu wurden die Ergebnisse von Doppelinterviews zur Abschätzung der Inter- und Intra-Rater-Variabilität nicht ausgesondert: Die Modellgruppen 1 bis 3 berücksichtigen die Variation der Tagesdosis-, der Druckkraft- bzw. der Rumpfvorneigungsschwelle; Modellgruppe 4 fokussiert auf die Nicht-Berücksichtigung von Hebe-und-Trage-komplementären Lastenhandhabungen im Vergleich zu deren Einbeziehung im Grundmodell, und in Modellgruppe 5 wird das BSG- dem Grundmodell gegenübergestellt. Abschließend werden die Ergebnisse der Kombinationsmodelle verglichen (vgl. Kap. 4.1.3.4), bei denen die Bandscheiben-Druckkraft einerseits mit dem Werkzeug „Der Dortmunder“ und andererseits mit den neu abgeleiteten „Bestimmungsgleichungen“ (vgl. Kap. 5.2) geschätzt wurden.

Aufgrund einer aktuellen Datensichtung wurden die Tagesdosiswerte einheitlich auf 40,0 kNh pro Tag begrenzt; bezogen auf das Grundmodell wurden daher neun Tagesdosen bis 65,0 kNh sowie drei sehr hohe Werte von etwa 100,0 kNh oder mehr durch 40,0 kNh ersetzt. Derartige Expositionen, die ausnahmslos Beschäftigte in der Land- oder Forstwirtschaft bzw. in der Tierpflege betrafen und eine spezifische modulare Belastungserfassung aufweisen (vgl. Bolm-Audorff et al. 2007a), wurden als diskussionswürdig eingeschätzt; ein Aussondern der Daten wurde zugunsten der Begrenzung auf den mutmaßlich noch realitätsnahen Maximalwert verworfen. Mit Bezug auf die Auswertungen in der DWS1 wird angemerkt, dass seinerzeit die Expositionen klassiert wurden und daher das extreme Ausmaß derartig hoher Werte keine weiteren Auswirkungen auf die Risikoberechnung hatten; im Gegensatz dazu gehen Expositionen in der DWS-Richtwertestudie als kontinuierliche Variable ein, so dass die erwähnten Adaptationen sinnvoll erschienen.

Anmerkung zum numerischen Umgang mit Schwellenwerten:

Für die Berechnung der Dosiswerte mit verschiedenen Schwellenwerten für die Tagesdosis in Kilo-Newton-Stunden (kNh) und Bandscheiben-Druckkraft Kilo-Newton (kN) wurden analog zur DWS1 Rundungen auf die zweite Dezimale vorgenommen. Dies bedeutet beispielsweise für einen Tagesdosiswellenwert von 2,0 kNh entsprechend Dosismodell 102, dass in der programmtechnischen Rechenanweisung alle Dosiswerte unterhalb von 1.950,00 N „auf Null gesetzt“ wurden bzw. bei der Tagesdosis-Kumulation nicht berücksichtigt wurden; für eine Druckkraftschwelle von beispielsweise 3,0 kN analog Dosismodell 112 wurden Werte unterhalb von 2.950,00 N auf Null gesetzt bzw. blieben unberücksichtigt. Analog dazu wurden auch bei Schwellenwerten, die als Bruch dargestellt sind, ein Wert von 0,05 bei der programmtechnischen Rechenanweisung „abgezogen“ (z. B. $2\frac{1}{4}$ kN entsprechen 2,2 kN).

5.1.3.1.1 Modellgruppe 1: Variation von Tagesdosissschwellen

Abbildung 5.1.3-1 enthält die Tagesdosiswerte für die zehn Modelle, bei denen die Schwelle der Tagesdosis von 0 bis 10,0 kNh variiert wurde (Modellgruppe 1). Entsprechend Tabelle 5.1.3-1 umfasst dies die Dosismodelle 101 bis 108 („DoMo 101“ folgende), erweitert um die Modelle 201 und 202 mit intermediären Schwellen von 0,5 und 1,0 kNh zwischen dem vergleichsweise großen Sprung von 0 auf 2,0 kNh bei den Modellen 101 und 102. Die Abbildung 5.1.3-1 ist so aufgebaut, dass die Tagesdosiswerte des Grundmodells (DoMo 101) jeweils auf der Abszisse abgetragen sind und die Werte der anderen Modelle auf der Ordinate, so dass sich hier neun Diagramme ergeben – beginnend mit dem Modell mit der niedrigsten Tagesdosissschwelle (DoMo 201 vs. 101: oben links) und endend mit der Darstellung zur höchsten Schwelle (DoMo 108 vs. 101: unten links).

Vergleich von Tagesdosis-Werten Modellgruppe 1: Variation von Tagesdosis-Schwellen

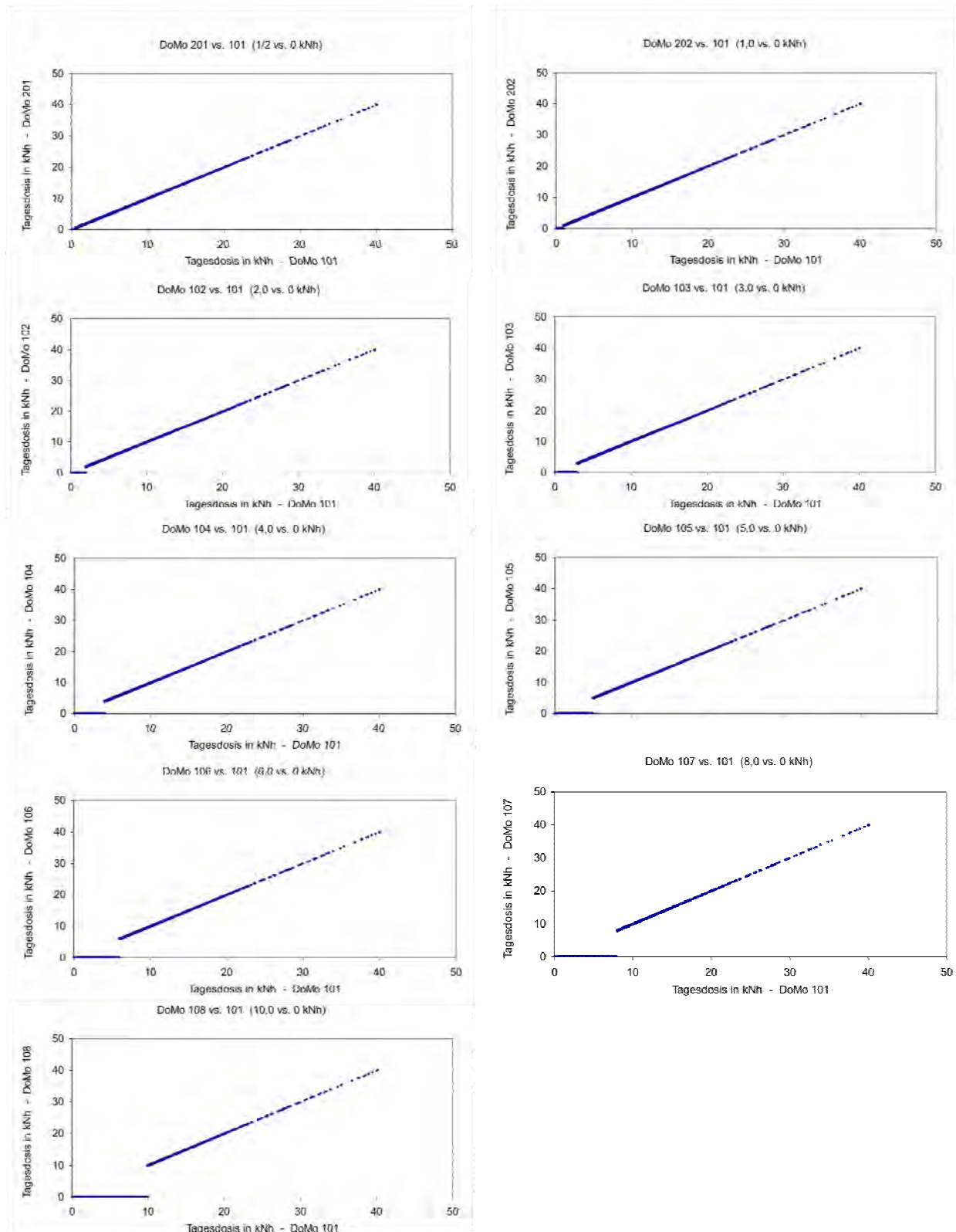


Abbildung 5.1.3-1: Übersicht zu Tagesdosiswerten bei Modellgruppe 1 – Auswirkung verschiedener Tagesdosissschwellen zwischen 0 und 10,0 kNh auf die Tagesdosis (Dosismodelle 101 bis 108 sowie 201 und 202)

Wie das Diagramm zur niedrigsten Tagesdosischwelle von 0,5 kNh zeigt (oben links), sind die Werte zu DoMo 201 scheinbar identisch mit denen von DoMo 101, d. h., die Werte liegen einerseits auf der Identitätslinie, und andererseits ist die vergleichsweise niedrige Dosischwelle im Bereich des Koordinatenursprungs bei der gewählten grafischen Auflösung kaum identifizierbar. Im Gegensatz dazu werden die Nullwerte bei Dosismodell 202 (oben rechts) bei einer Schwelle von 1,0 kNh deutlicher erkennbar; dieses Verhalten verstärkt sich mit zunehmender Tagesdosischwelle, so dass bei der höchsten Schwelle von 10,0 kNh (Diagramm unten links zu DoMo 108 vs. 101) ein vergleichsweise großer Abschnitt mit Nullwerten belegt ist, der etwa 4.800 Tagesexpositionen und somit mehr als der Hälfte aller Werte entspricht (zusätzlich zu den Nullwerten bei Anwendung der Erhebungsschwellen des Grundmodells).

5.1.3.1.2 Modellgruppe 2: Variation von Druckkraftschwellen

Abbildung 5.1.3-2 ist analog zu Abbildung 5.1.3-1 aufgebaut und zeigt die Tagesdosiswerte an der Ordinate für die 15 Modelle, bei denen die Schwelle der Bandscheiben-Druckkraft von $2\frac{1}{4}$ bis 12,0 kN variiert wurde (Modellgruppe 2, s. a. Tabelle 5.1.3-1); die Dosiswerte des Grundmodells (DoMo 101), bei dem eine Druckkraftschwelle von 2,0 kN berücksichtigt wurde, sind wiederum an den Abszissen angegeben. Dementsprechend beziehen sich die Diagramme im oberen Teil der Abbildung auf die Daten zu den Dosismodellen 109 bis 113, und die nachfolgenden Diagramme korrespondieren mit den Modellen 203 bis 212.

Anhand des Diagramms oben links in Abbildung 5.1.3-2 wird deutlich, dass durch Anwendung einer höheren Druckkraftschwelle die Tagesdosis der entsprechenden Schicht gemeinhin zwar verringert wird – da einzelne Belastungssituationen mit Druckkräften zwischen 2,0 und $2\frac{1}{4}$ kN als irrelevant klassifiziert werden und daher bei der Dosiskumulation unberücksichtigt bleiben –, allerdings zeigt sich auch, dass die Tagesdosis dadurch in der Regel nicht auf Null gesetzt wird. Demzufolge ergibt sich im Diagramm kein „Sprung“ in der Nähe des Koordinatenursprungs wie in den Diagrammen von Abbildung 5.1.3-1, sondern eine ausgeprägte Häufung von Werten auf der Identitätslinie, da die Druckkraftschwellen der beiden Dosismodelle 109 und 101 vergleichsweise nah beieinander liegen ($2\frac{1}{4}$ vs. 2,0 kN), sowie nahezu 1.100 Punkte unterhalb dieser „Gleichheitslinie“. Oberhalb der Identitätslinie befinden sich keine Punkte, da die Druckkraftschwelle von Dosismodell 109 höher liegt als die von DoMo 101.

Vergleich von Tagesdosis-Werten Modellgruppe 2: Variation von Druckkraft-Schwellen

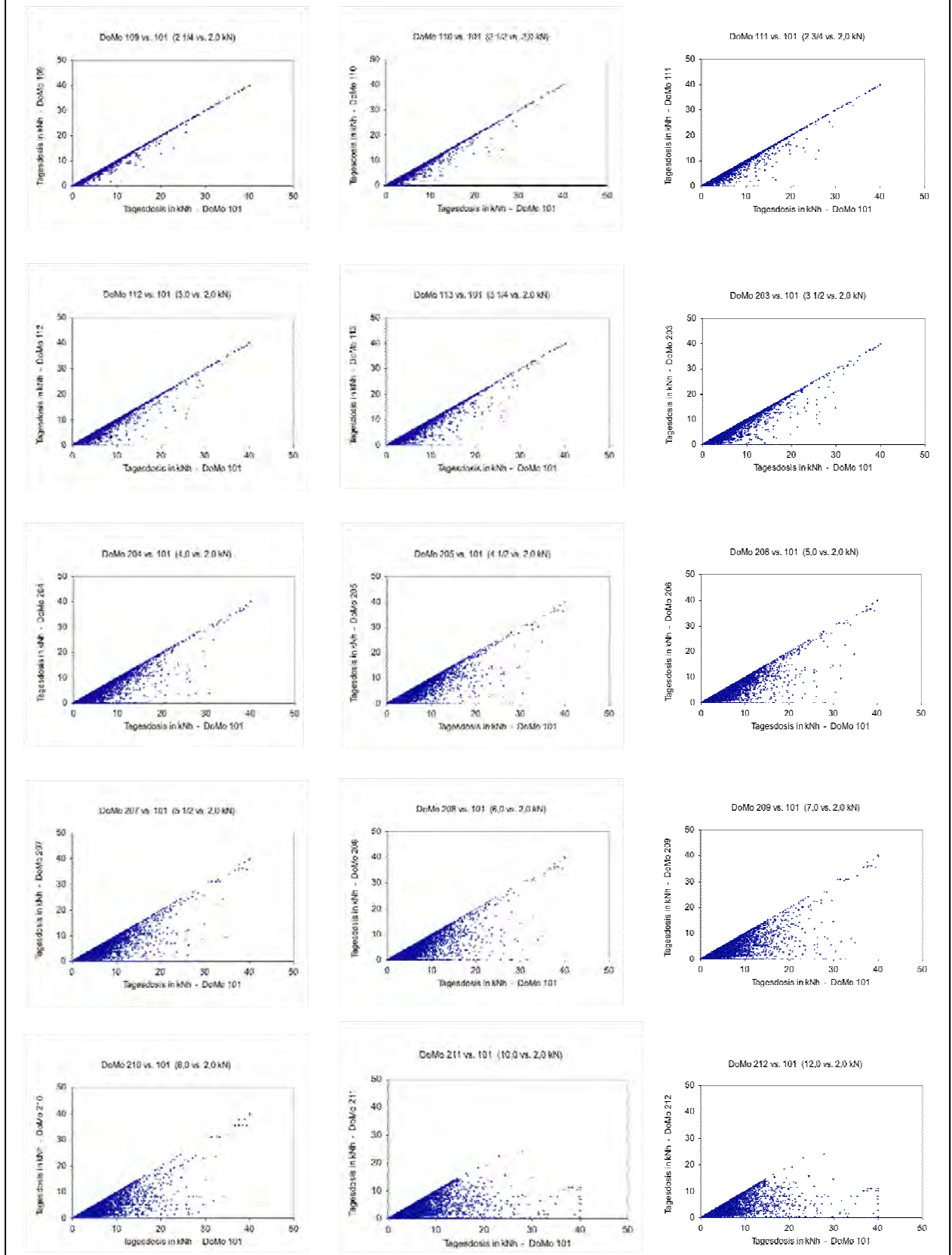


Abbildung 5.1.3-2: Übersicht zu Tagesdosiswerten bei Modellgruppe 2 – Auswirkung verschiedener Druckkraftschwellen zwischen 2,0 und 12,0 kN auf die Tagesdosis (Dosismodelle 101 sowie 109 bis 113 und 203 bis 212)

Vergleicht man die Diagramme untereinander, zeigt sich, dass mit zunehmender Druckkraftschwelle zunehmend mehr Tagesdosiswerte verringert werden bzw. die Verringerung deutlicher ist, so dass das Winkelfeld in der Nähe des Koordinatenursprungs zwischen Abszisse und Identitätslinie mehr und mehr mit Punkten gefüllt ist. Bei einer Druckkraftschwelle von 3,0 kN (DoMo 112) ergeben sich beispielsweise etwa 3.300 verringerte Werte im Vergleich zum Grundmodell, bei 6,0 kN (DoMo 208) etwa 4.700 Werte und schließlich bei einer Schwelle von 12,0 kN (DoMo 212) etwa 4.800 Werte. Die Diagramme zu den Dosismodellen 211 und 212 (unten Mitte und rechts) verdeutlichen zudem die Begrenzung der Tagesdosis auf 40,0 kNh: Während beim Grundmodell 101 dieser Maximalwert erreicht wird, werden durch die Druckkraftschwelle von 10,0 bzw. 12,0 kNh bei den Modellen 211 und 212 Expositionen bei der Dosiskumulation ausgesondert, die zu der hohen Tagesdosis geführt hatten. Dieses Verhalten macht sich anhand der übereinander liegenden Punkte beim Abszissenwert von 40,0 kNh bemerkbar.

5.1.3.1.3 Modellgruppe 3: Variation von Rumpfvorneigungsschwellen

Die Ergebnisse zu Modellgruppe 3 sind in Abbildung 5.1.3-3 dargestellt, die ähnlich konfiguriert ist wie die beiden vorigen. Wie anhand von Tabelle 5.1.3-1 ersichtlich, wurde die Rumpfvorneigungsschwelle in nur wenigen Stufen variiert: 20, 45, 75 und 90°. Demzufolge ergeben sich im Vergleich zum Grundmodell, das durch eine Schwelle von 45° gekennzeichnet ist, das erneut als Referenz verwendet wurde und dessen Werte daher wieder auf den Abszissen abgetragen sind, drei weitere Tagesdosiswertegruppen (DoMo 114 bis 116, jeweils vs. DoMo 101). Das Diagramm oben links in Abbildung 5.1.3-3 zeigt dahingehend ein anderes Verhalten als bisher beschrieben, da die zugrunde liegende Schwelle „liberaler“ als die des Grundmodells ist und daher zum Teil höhere Tagesdosen erreicht werden – dies verdeutlichen die Punkte oberhalb der Identitätslinie, während unterhalb keine Punkte vorhanden sind. Auffällig sind zudem die etwa 300 Punkte an der Ordinate bis etwa 10,0 kNh, die offensichtlich aus ausschließlichen Expositionen mit 20° Rumpfvorneigung ohne Lastenhandhabung resultieren, d. h., bei Anwendung des Grundmodells werden diese Belastungen bei der Dosiskumulation nicht berücksichtigt.

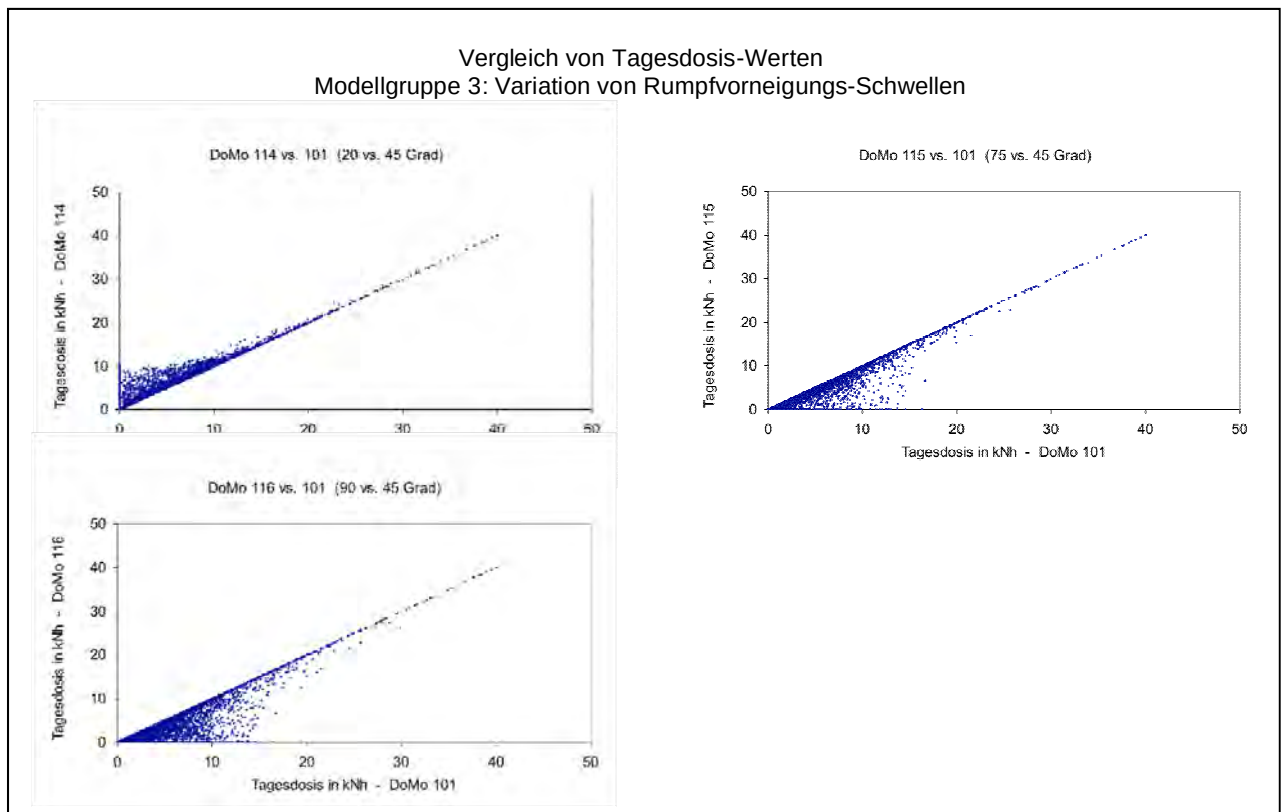


Abbildung 5.1.3-3: Übersicht zu Tagesdosiswerten bei Modellgruppe 3 – Auswirkung verschiedener Rumpfvorneigungsschwellen zwischen 20 und 90° auf die Tagesdosis (Dosismodelle 101 sowie 114 bis 116)

Die beiden anderen Diagramme weisen eine ähnliche Punkteverteilung wie in der vorigen Abbildung auf: Mit höherer Schwelle – von 75° bei DoMo 115 auf 90° bei DoMo 116 – verstärkt sich die Verringerung der Tagesdosis bezogen auf das Grundmodell 101, d. h., das Winkelfeld in Nähe des Koordinatenursprungs zwischen Abszisse und Identitätslinie wird „dunkler“. Zudem ergeben sich keine Werte im oberen Winkelfeld.

5.1.3.1.4 Modellgruppe 4: Variation der Handhabungsarten

Die Ergebnisse zur Variation der Handhabungsart werden anhand eines einzigen Diagramms in Abbildung 5.1.3-4 dargestellt, da ein einziges Ja-Nein-Kriterium angewendet wurde: Das Dosismodell 117 berücksichtigt neben Körperhaltungsexpositionen ohne Lastenhandhabung nur solche Tätigkeiten, die mit dem Begriff „Heben, Halten und Tragen von Lasten“ beschrieben werden, wobei insbesondere Schaufeltätigkeiten und das manuelle Bewegen von Personen in der Kranken- und Altenpflege eingeschlossen werden. Im Gegensatz dazu bleibt das Ziehen oder Schieben von Lasten, das Fangen oder Werfen von Ge-

genständen sowie die Belastung durch sonstige Kraftaufwendungen wie das Abstützen von großformatigen Objekten in DoMo 117 unberücksichtigt; im Gegensatz dazu werden diese Hebe-und-Trage-„komplementären“ Lastenhandhabungen im Grundmodell einbezogen – wie bei allen anderen in der DWS-Richtwerte verwendeten Dosismodellen mit Ausnahme des BSG-Modells. Wie die vergleichsweise spärliche Streuung der Werte zeigt, führten diese Tätigkeiten bei der Belastungserfassung nur etwa 300mal und somit relativ selten zu „relevanten“ Druckkräften (Schwelle bei beiden Dosismodellen: 2,0 kN)

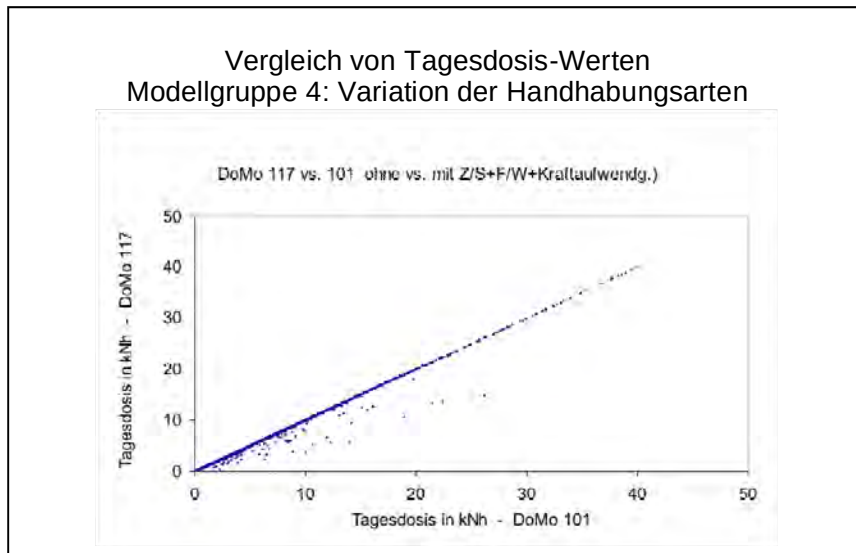


Abbildung 5.1.3-4: Übersicht zu Tagesdosiswerten bei Modellgruppe 4 – Auswirkung der Einbeziehung bzw. Nicht-Berücksichtigung von Lastenhandhabungen außer Heben, Halten und Tragen auf die Tagesdosis (Dosismodelle 101 und 117)

5.1.3.1.5 Modellgruppe 5: Vergleich von BSG-Modell und Grundmodell

Das Tagesdosis-Modell des Bundessozialgerichts (BSG 2007) bezieht sich auf die Kriterien des Mainz-Dortmunder Dosismodells, das allerdings aufgrund der Ergebnisse der DWS1 im Rahmen der DWS-Richtwertestudie bei der Beschreibung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen nicht berücksichtigt wird. Weiterhin fokussiert das „BSG-Modell“ auf Männer und enthält demzufolge keine für Frauen anwendbaren Angaben. Insgesamt sind hier die Schwellenwerte für Tagesdosis und Druckkraft relevant, die sich vom hier als Referenz gewählten Grundmodell nur bezüglich der zweiten Eigenschaft unterscheiden (2,7 anstatt 2,0 kN; MDD: 3,2 kN für Männer); eine Tagesdosischwelle ist in beiden Modellen (DoMo 118M und 101) nicht vorgesehen. Da im betreffenden BSG-Urteil keine Vorschläge bezüglich der Kriterien „extreme Rumpfbeugehaltung“ und „besondere Ausprägungen des Hebens oder Tragens von Lasten“ erläutert sind, die von früheren Interpretationen der Angaben im Merkblatt zur BK 2108

und somit von dessen Umsetzung mittels Mainz-Dortmunder Dosismodell abweichen, wurden als Eigenschaften im BSG-Modell eine Rumpfvorneigungsschwelle von 90° und das Nicht-Einbeziehen von Hebe-und-Trage-komplementären Lastenhandhabungen wie Ziehen oder Schieben vorausgesetzt. Daher unterscheidet sich das BSG-Modell letztendlich in drei Kriterien vom Grundmodell: Bandscheiben-Druckkraft, Rumpfvorneigung und Handhabungsarten.

Die Gegenüberstellung von Tagesdosiswerten bei Anwendung des BSG-Modells und des Grundmodells ist in Abbildung 5.1.3-5 auf Basis von etwa 5.600 Wertepaaren für Männer enthalten. Die Punkteverteilung zeigt zunächst, dass die Kriterien des BSG-Modells gleich oder „rigider“ sind als die des Grundmodells, da sich keine Punkte oberhalb der Identitätslinie ergeben haben. Wie die vielen Punkte im unteren Winkelfeld verdeutlichen, führen die BSG-Kriterien im Vergleich zum Grundmodell in vielen Fällen zu einer deutlichen Dosisverringern. Vergleicht man diese Punkteverteilung mit denen in zuvor gezeigten Diagrammen, bei denen die Druckkraft-, Rumpfvorneigung- und Handhabungsart-Eigenschaften einzeln und nicht kombiniert wie hier beim BSG-Modell variiert wurden (s. dazu Diagramm oben rechts zu DoMo 111 in Abb. 5.1.3-2, Diagramm unten links zu DoMo 116 in Abb. 5.1.3-3 und Diagramm zu DoMo 117 in Abb. 5.1.3-4), sind die meisten Dosisabweichungen mutmaßlich auf die strengere Rumpfvorneigungsschwelle zurückzuführen und die wenigsten auf das Ausschließen von Handhabungsarten außer Heben oder Tragen von Lasten.

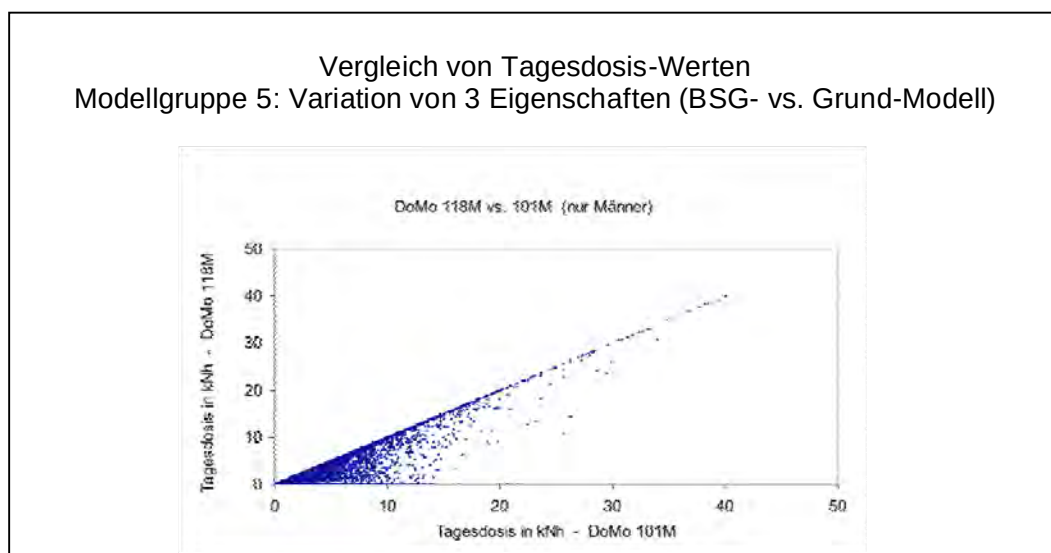


Abbildung 5.1.3-5: Übersicht zu Tagesdosiswerten bei Modellgruppe 5 – Auswirkung der Variation von drei Eigenschaften im BSG-Modell im Vergleich zum Grundmodell (Dosismodelle 101 und 118), bezogen auf die für Männer erhobenen Daten (s. „M“ an Modellnummer)

5.1.3.1.6 Kombinationsmodelle: Zwei Arten der Druckkraft-Schätzung

Wie in Kapitel 4.1.3.4 erläutert, wurde die Bandscheiben-Druckkraft innerhalb der DWS1 sowie der DWS-Richtwertestudie in der Regel für jede Arbeitssituation individuell mit Hilfe des Werkzeugs „Der Dortmund“ bestimmt. Für die Anwendung der Ergebnisse in späteren Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren sollen unter anderem „Bestimmungsgleichungen“ abgeleitet werden (vgl. Kap. 5.2), mit denen die Druckkraft ohne Nutzung des „Dortmunder“ bei Angabe von Kategorien zur Handhabungsart, des Lastgewichts und zu besonderen Ausprägungen (z. B. körperfern, deutlich asymmetrisch) relativ einfach geschätzt werden kann. Beide Arten der Druckkraft-Schätzung – via „Dortmunder“ und „Bestimmungsgleichungen“ – wurden insbesondere bei den Berechnungen der Tagesdosen mit Hilfe der „Kombinationsmodelle“ genutzt, die als 300er bzw. 400er Modelle bezeichnet wurden. Eine Gegenüberstellung der resultierenden Tagesdosiswerte ist in Abbildung 5.1.3-6 enthalten; diese Vergleiche unterscheiden sich in mehrerer Hinsicht von den zuvor gezeigten Darstellungen in den Abbildungen 5.1.3-1 bis 5.1.3-5: Zum einen wird als Referenz nicht das Grundmodell 101 gewählt, sondern das jeweilige 300er Modell, zum anderen basieren sämtliche Diagramme auf den geschlechtsspezifischen Daten-Untergruppen. Da zudem die 400er Tagesdosis-Modelle nicht „nachträglich“ auf die in der DWS1 durchgeführten Doppelinterviews angewendet wurden, wurden die entsprechenden Ergebnisse bei Anwendung der 300er Modelle für die aktuellen Vergleiche ausgesondert. Insgesamt basieren die Diagramme in Abbildung 5.1.3-6 für Männer auf etwa 5.200 und die für Frauen auf etwa 3.200 Datenpaaren. Die beiden oberen Diagramme zeigen die Ergebnisse für die für Fallgruppe 1 abgeleiteten Kombinationsmodelle (DoMo 401 und 402 vs. 301 bzw. 302, jeweils für Männer; s. „M“ an Modellnummer), die Diagramme in der zweiten Reihe beziehen sich auf die Ergebnisse für die für Fallgruppe 2 abgeleiteten Kombinationsmodelle (DoMo 403 und 404 vs. 303 bzw. 304, jeweils für Frauen; s. „F“ an Modellnummer), und die dritte Reihe korrespondiert zu Fallgruppe 3 (DoMo 405 und 406 vs. 305 bzw. 306, jeweils für Männer). Die Modelle 307 und 308 bzw. 407 und 408 wurden nur zwischenzeitlich genutzt, so dass hierzu keine Ergebnisse vorgestellt werden; für Fallgruppe 4, wenn auch bezogen auf die sogenannte Nebenanalyse (vgl. Kap. 5.1.3.4), werden die Ergebnisvergleiche in den beiden unteren Diagrammen skizziert. Die jeweils links positionierten Diagramme spiegeln die Ergebnisse für eine Rumpfvorneigungsschwelle von 45° wider, die Diagramme rechts für 75°.

Wie die acht Diagramme in Abbildung 5.1.3-6 zeigen, führt die Berechnung der Bandscheiben-Druckkraft mittels Bestimmungsgleichungen nicht durchgehend zu einer Über- oder Unterschätzung im Vergleich zur Berechnung via Dortmund, so dass Punkte beidseits der Identitätslinie auftreten. Weiterhin wird in allen acht Diagrammen die Wirkung der Tagesdo-

sischwelle von 2,0 kNh bei Männern bzw. 0,5 kNh bei Frauen deutlich; dies drückt sich in einer nicht von Punkten belegten Lücke zwischen den Koordinatenachsen und den Punkten im Dosisfeld aus. Darüber hinaus liegen in allen acht Diagrammen zahlreiche Punkte auf der Identitätslinie, was für eine gute Übereinstimmung der Bandscheiben-Druckkräfte mittels Bestimmungsgleichungen und mittels Dortmunderspricht, teilweise aber auch aus der Übernahme von Werten – vor allem zu Expositionen in der Pflege sowie der Land- und Forstwirtschaft – resultieren kann, d. h., für einige Tätigkeiten wurden keine Bestimmungsgleichungen abgeleitet. Vergleicht man die Wertebereiche für Männer und Frauen, zeigt sich, dass Dosiswerte oberhalb 25,0 kNh bei Frauen nicht auftreten, während einige Tagesdosen bei Männern bis zu 40,0 kNh, dem gesetzten Maximalwert, betragen. Der Vergleich jeweils nebeneinander stehender Diagramme weist eher gering scheinende Unterschiede aufgrund der verschiedenen Rumpfvorneigungsschwelle, 75 vs. 45°, auf: Es sind mehr Punkte über einen größeren Bereich ober- und unterhalb der Identitätslinie verstreut bzw. der durch Punkte schwarz scheinende „Kernbereich“ in der Nähe der Identitätslinie bis etwa 10,0 kNh erscheint ein wenig größer. Detaillierte Quantifizierungen, wenn auch auf die Lebensdosis bezogen, werden in Kap. 5.2 vorgestellt.

Vergleich von Tagesdosis-Werten Kombinationsmodelle: Variation der Berechnungsart

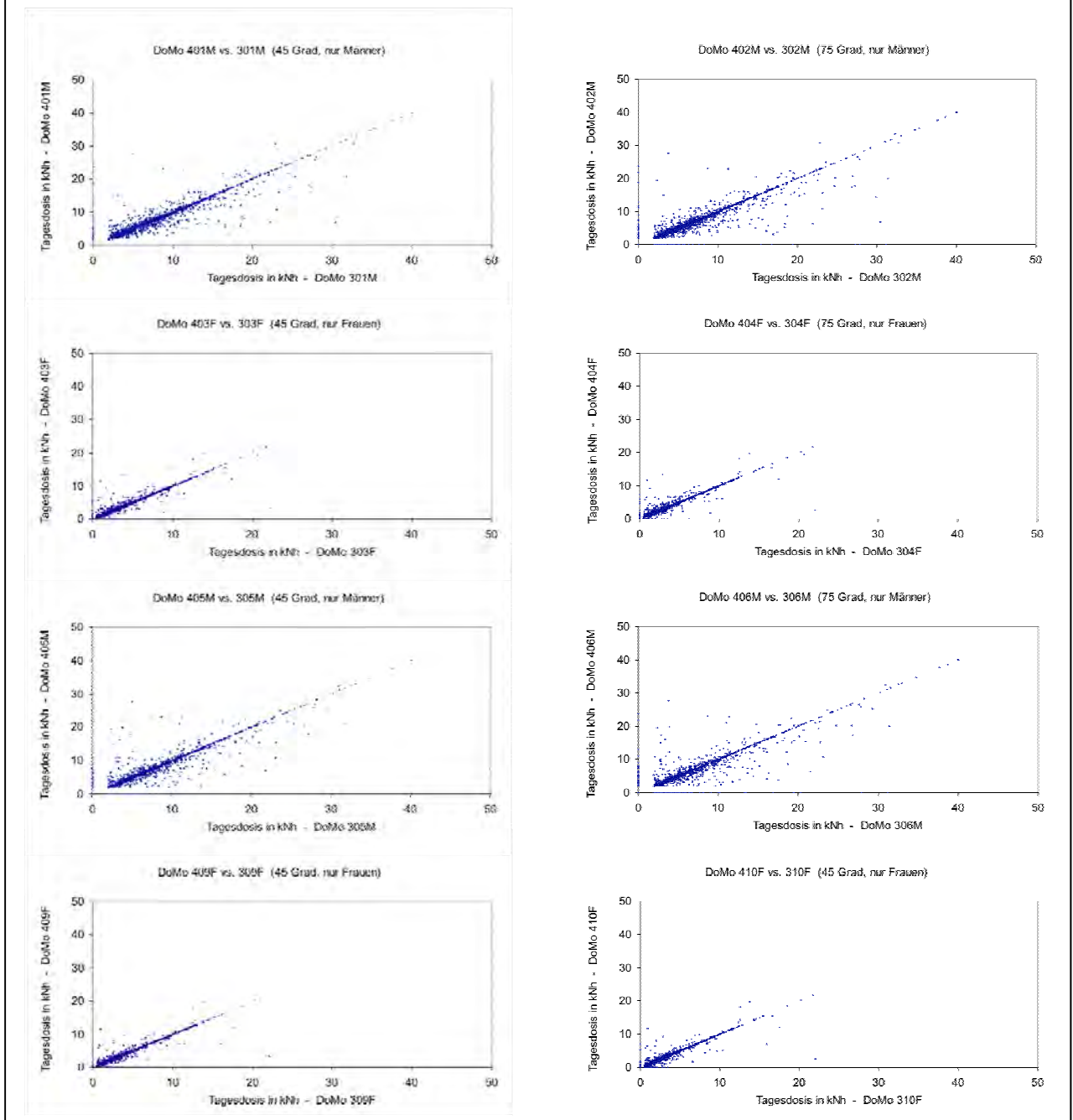


Abbildung 5.1.3-6: Übersicht zu Tagesdosiswerten für die Kombinationsmodelle der vier Fallgruppen – Auswirkung der Variation der Berechnungsart bei der Schätzung der Bandscheiben-Druckkraft via „Dortmunder“ (300er Modelle) bzw. via „Bestimmungsgleichungen“ (400er Modelle), jeweils bezogen auf die für Männer bzw. Frauen erhobenen Daten (s. „M“ oder „F“ an Modellnummer)

5.1.3.2 Berechnung der kumulativen Dosiswerte für die ursprünglich festgelegten Dosismodelle sowie für weitere Dosismodelle

Für die im Kap. 5.1.3.1 dargestellten 18 Dosismodelle wurde die Lebensdosis bestimmt, indem die Tagesdosiswerte über das gesamte Berufsleben aufsummiert wurden (bei Fällen bis zur Diagnosestellung, bei Kontrollpersonen bis zur TAD-Erhebung). Tabelle 5.1.3-2 gibt eine Übersicht über die für die vorliegenden Modelle erzielten AIC-Werte bei Verwendung fraktionaler Polynome 2. und 4. Grades.

Dargestellt sind die AIC-Werte für die Prüfung der Schwellen: Tagesdosis, Druckkraft, Rumpfvorneigung und die Berücksichtigung von Ziehen/Schieben/Fangen/Werfen, außerdem der Vergleich zur Vorgabe des BSG. Die Werte sind für die vier Fallgruppen (FG1 bis FG4) mit fraktionalen Polynomen zweiten und vierten Grades (FP2 und FP4) gerechnet und aufgetragen. Die farbig hinterlegten Werte liegen jeweils innerhalb der 95 %-Modellkonfidenzmenge für die entsprechende Einflussgröße und sind somit nach statistischen Gesichtspunkten nicht voneinander zu unterscheiden. Die fett gedruckten Zahlen stellen den jeweils kleinsten AIC-Wert einer Gruppe und damit das nominal beste Modell dar.

Besonders für den Teilaspekt der Variation der Druckkraftschwelle fällt auf, dass aus den vorliegenden Berechnungen kein numerisches Abbruchkriterium ableitbar ist – nahezu alle zugehörigen Felder in der Tabelle 5.1.3-2 sind farbig markiert und liegen somit innerhalb der jeweiligen 95 %-Modellkonfidenzmengen. Es stellte sich daher die Frage nach der Erweiterung der Schwellenwertvariation. Dies gab Anlass, die AIC-Berechnungen, die bisher für die beschriebenen 18 Modelle durchgeführt worden waren, unter Hinzunahme weiterer Dosismodelle (Druckkraftschwellen zwischen 3,5 und 12,0 kN) zu wiederholen. Hinzu kommt, dass der Unterschied zwischen den Dosismodellen 101 und 102 bezüglich der Tagesdosisschwelle 0 zu 2,0 kNh beträgt, so dass auch Dosismodelle mit niedrigeren Schwellen von 0,5 und 1,0 kNh hinsichtlich der Anpassungsgüte geprüft werden sollten. Damit erweiterte sich das Spektrum der einbezogenen Dosismodelle um 12 auf insgesamt 30. Eine zusammenfassende Übersicht zu den Modelleigenschaften der ersten beiden Modellgruppen gibt Tabelle 5.1.3-3, in der die zusätzlichen 12 Modelle als „200er Modelle“ bezeichnet sind (201-212).

Auf der Grundlage des daraus resultierenden erweiterten Sets an aktuell 30 Dosismodellen (anstatt zuvor 18) sind die AIC-Berechnungen mit fraktionalen Polynomen 2. (FP2) und 4. Grades (FP4) wiederholt worden. Analog zum Vorgehen bei der ursprünglichen Schwellenwertvariation sind in der Tabelle 5.1.3-4 die AIC-Werte für das erweiterte Modellspektrum unter Verwendung fraktionaler Polynome 2. und 4. Grades dargestellt. Zusätzlich enthält Tabelle 5.1.3-4 – als Vorgriff auf die „erste“ Multi-Modell-Analyse – Informationen darüber,

wie sich die Erweiterung der Schwellenwertvariation durch die veränderten 95 %-Modellkonfidenzmengen auf die Ergebnisse der Modellmittelung auswirkt. Dies geht aus den beiden rechten Spalten der Tabelle hervor.

Tabelle 5.1.3-2: AIC-Werte der Haupt-(FP2) und Sensitivitätsanalyse (FP4); alle farbig markierten Werte bilden die 95 %-Konfidenzmenge, fett hervorgehoben sind die jeweiligen AIC Minima (Bestmodell)

Erläuterungen:

FG: Fallgruppe mit FG1 Männer Prolaps, FG2 Frauen Prolaps, FG3 Männer Chondrose, FG4 Frauen Chondrose

FP2, FP4: Verwendung fraktionaler Polynome 2. bzw. 4. Grades

Gr.: Gruppe mit Gr.1 = Variation Schwelle Tagesdosis, Gr.2 = Variation Schwelle Druckkraft, Gr. 3 = Variation Schwelle Rumpfbeugung, Gr.4 = mit/ohne Ziehen etc. Rumpfbeugung 45°, Gr. 5 = mit Ziehen etc. (45°), ohne Ziehen etc. (90°)

Variation	Schwelle	Gr.	Modell	Haupt FG1 FP2	Sensitivitäts FG1 FP4	Haupt FG2 FP2	Sensitivitäts FG2 FP4	Haupt FG3 FP2	Sensitivitäts FG3 FP4	Haupt FG4 FP2	Sensitivitäts FG4 FP4
Schwelle Tagesdosis	0 kNh	1	I_D_101k1	943,7	942,4	948,0	945,9	620,6	621,3	716,6	717,1
Schwelle Tagesdosis	2,0 kNh	1	I_D_102k1	939,3	937,2	960,3	960,0	617,0	615,5	718,7	718,2
Schwelle Tagesdosis	3,0 kNh	1	I_D_103k1	944,3	942,5	962,8	963,1	624,1	625,1	721,6	720,8
Schwelle Tagesdosis	4,0 kNh	1	I_D_104k1	945,1	942,5	967,5	968,4	625,1	627,0	729,7	729,7
Schwelle Tagesdosis	5,0 kNh	1	I_D_105k1	944,0	942,2	968,1	971,4	623,4	624,8	735,1	737,6
Schwelle Tagesdosis	6,0 kNh	1	I_D_106k1	955,3	956,2	972,9	975,9	627,5	627,7	738,4	739,1
Schwelle Tagesdosis	8,0 kNh	1	I_D_107k1	967,1	969,7	970,3	972,0	632,8	635,3	736,1	738,9
Schwelle Tagesdosis	10,0 kNh	1	I_D_108k1	971,2	971,7	975,1	971,0	633,9	634,6	739,0	741,7
Schwelle Druckkraft	2,0 kN	2	I_D_101k1	943,7	942,4	947,9	945,9	620,6	621,3	716,6	717,1
Schwelle Druckkraft	2,25 kN	2	I_D_109k1	944,9	943,1	946,7	944,1	620,5	621,0	717,0	718,0
Schwelle Druckkraft	2,5 kN	2	I_D_110k1	945,1	943,7	946,3	943,2	619,7	620,8	717,2	717,8
Schwelle Druckkraft	2,75 kN	2	I_D_111k1	944,6	942,5	947,7	944,9	617,8	619,6	717,9	718,6
Schwelle Druckkraft	3,0 kN	2	I_D_112k1	946,0	943,5	948,0	944,2	617,9	618,6	719,6	718,6
Schwelle Druckkraft	3,25 kN	2	I_D_113k1	945,3	942,0	948,7	944,8	617,9	619,0	720,4	721,6
Schwelle Rumpfbeugung	20°	3	I_D_114k1	942,2	943,0	946,8	945,0	617,7	618,0	716,4	718,0
Schwelle Rumpfbeugung	45°	3	I_D_101k1	943,7	942,4	948,0	945,9	620,6	621,3	716,6	717,0
Schwelle Rumpfbeugung	75°	3	I_D_115k1	948,0	942,3	947,7	944,1	622,4	622,0	717,8	718,0
Schwelle Rumpfbeugung	90°	3	I_D_116k1	947,1	943,4	954,1	951,2	622,5	620,7	716,9	716,0
mit Ziehen etc. 45°		4	I_D_101k1	943,7	942,4	948,0	945,9	620,6	621,3	716,6	717,1
ohne Ziehen etc. 45°		4	I_D_117k1	946,3	943,4	948,0	945,9	621,0	620,9	716,6	717,1
mit Ziehen etc. 45°		5	I_D_101k1	943,7	942,4	948,0	945,9	620,6	621,3	716,6	717,1
ohne Ziehen etc. 90° "BSG"		5	I_D_118k1	951,0	946,8	952,2	952,2	620,3	621,2	719,1	718,0

Tabelle 5.1.3-3: Übersicht der separat variierten Eigenschaften der in der DWS-Richtwertestudie zusätzlich verwendeten 12 Dosismodelle (Nr. 201-212) zur Berechnung der Schichtdosis, ausgehend von den durch Fettdruck hervorgehobenen Eigenschaften des „Grundmodells“ 101 und der zunächst verwendeten Modelle der Modellgruppen 1 und 2 (Nr. 102-108 bzw. 109-113)

Modell- gruppe	Dosismodell Nr.	Schwelle Tagesdosis	Schwelle Druckkraft	Schwelle Rumpf- vorneigung	Ziehen/Schieben Fangen/Werfen Kraftaufwendung
1 erweitert	101	0 kNh	2,0 kN	45°	mit
	201	0,5 kNh			
	202	1,0 kNh			
	102	2,0 kNh			
	103	3,0 kNh			
	104	4,0 kNh			
	105	5,0 kNh			
	106	6,0 kNh			
	107	8,0 kNh			
	108	10,0 kNh			
2 erweitert	101	0 kNh	2,0 kN	45°	mit
	109		2 ¼ kN		
	110		2 ½ kN		
	111		2 ¾ kN		
	112		3,0 kN		
	113		3 ¼ kN		
	203		3 ½ kN		
	204		4,0 kN		
	205		4 ½ kN		
	206		5,0 kN		
	207		5 ½ kN		
	208		6,0 kN		
	209		7,0 kN		
	210		8,0 kN		
	211		10,0 kN		
	212		12,0 kN		

Tabelle 5.1.3-4: AIC-Werte der Haupt-(FP2) und Sensitivitätsanalyse (FP4): Erweiterung der Schwellen für Tagesdosis (0,5 kNh, 1,0 kNh) und Druckkraft (3,5 kN ... 12,0 kN); alle farbig markierten Werte bilden die 95 %-Konfidenzmenge, fett hervorgehoben sind die jeweiligen AIC Minima (Bestmodell)

Erläuterungen:

FG: Fallgruppe mit FG1 Männer Prolaps, FG2 Frauen Prolaps, FG3 Männer Chondrose, FG4 Frauen Chondrose

FP2, FP4: Verwendung fraktionaler Polynome 2. bzw. 4. Grades

Gr.: Gruppe mit Gr.1 = Variation Schwelle Tagesdosis, Gr.2 = Variation Schwelle Druckkraft, Gr. 3 = Variation Schwelle Rumpfbiegung, Gr.4 = mit/ohne Ziehen etc.

Rumpfbiegung 45°, Gr. 5 = mit Ziehen etc. (45°), ohne Ziehen etc. (90°)

Variation	Schwelle	Gr.	Modell	FG1 FP2	FG1 FP4	FG2 FP2	FG2 FP4	FG3 FP2	FG3 FP4	FG4 FP2	FG4 FP4	multi-model ohne 200er Modelle	mit 200er Modellen
Schwelle Tagesdosis	0 kNh	1	I_D_101k1	943,7	942,4	947,9	945,9	620,6	621,3	714,6	717,1	FG2, FG4	
Schwelle Tagesdosis	0,5 kNh	1	I_D_201k1	943,8	942,4	947,4	945,4	620,5	621,6	715,0	717,7		FG2, FG4
Schwelle Tagesdosis	1,0 kNh	1	I_D_202k1	943,7	942,0	949,0	948,0	619,2	618,6	715,7	715,2		
Schwelle Tagesdosis	2,0 kNh	1	I_D_102k1	939,2	937,2	958,4	960,0	617,0	615,5	718,0	718,2	FG1, FG3	FG1, FG3
Schwelle Tagesdosis	3,0 kNh	1	I_D_103k1	944,3	942,5	961,4	963,1	624,1	625,1	723,2	720,8		
Schwelle Tagesdosis	4,0 kNh	1	I_D_104k1	945,1	942,5	965,8	968,4	625,1	627,0	731,3	729,7		
Schwelle Tagesdosis	5,0 kNh	1	I_D_105k1	944,0	942,2	968,6	971,4	623,4	624,8	736,8	737,6		
Schwelle Tagesdosis	6,0 kNh	1	I_D_106k1	955,3	956,2	973,5	975,9	627,5	627,7	738,1	739,1		
Schwelle Tagesdosis	8,0 kNh	1	I_D_107k1	967,1	969,7	970,3	972,0	632,8	635,3	736,7	738,9		
Schwelle Tagesdosis	10,0 kNh	1	I_D_108k1	971,2	971,7	975,1	971,0	633,1	634,6	739,9	741,7		
Schwelle Druckkraft	2,0 kN	2	I_D_101k1	943,7	942,4	947,9	945,9	620,6	621,3	714,6	717,1		
Schwelle Druckkraft	2,25 kN	2	I_D_109k1	944,9	943,1	946,7	944,1	620,5	621,0	717,0	718,0	FG4	
Schwelle Druckkraft	2,5 kN	2	I_D_110k1	945,1	943,7	946,3	943,2	619,7	620,8	715,2	717,8	FG1, FG2	FG2
Schwelle Druckkraft	2,75 kN	2	I_D_111k1	944,6	942,5	947,7	944,9	617,8	619,6	715,8	718,6	FG3	FG4
Schwelle Druckkraft	3,0 kN	2	I_D_112k1	946,0	943,5	948,0	944,2	617,9	618,6	719,6	718,6		
Schwelle Druckkraft	3,25 kN	2	I_D_113k1	945,3	942,0	948,7	944,8	617,9	619,0	720,4	721,6		FG1
Schwelle Druckkraft	3,5 kN	2	I_D_203k1	947,0	942,9	952,4	949,2	617,8	621,0	721,9	722,7		
Schwelle Druckkraft	4,0 kN	2	I_D_204k1	941,7	940,4	952,9	952,7	617,0	620,8	722,1	722,3		FG3
Schwelle Druckkraft	4,5 kN	2	I_D_205k1	945,4	947,2	953,3	952,0	618,1	621,2	722,2	722,3		
Schwelle Druckkraft	5,0 kN	2	I_D_206k1	945,5		952,5	951,1	617,3	618,5	721,9	721,0		
Schwelle Druckkraft	5,5 kN	2	I_D_207k1	948,3	946,5	952,4	951,3	616,3	618,0	722,0	721,5		
Schwelle Druckkraft	6,0 kN	2	I_D_208k1	947,9	947,6	953,0	951,6	617,3	618,9	722,1	720,8		
Schwelle Druckkraft	7,0 kN	2	I_D_209k1	949,3	950,1	954,5	953,7	621,9		722,7	722,5		
Schwelle Druckkraft	8,0 kN	2	I_D_210k1	951,5	950,5	953,8	951,9	624,7		721,5	721,2		
Schwelle Druckkraft	10,0 kN	2	I_D_211k1	949,1	949,7	953,6	952,1	626,7	627,5	721,1	720,8		
Schwelle Druckkraft	12,0 kN	2	I_D_212k1	949,3		953,8	952,7	628,0	631,2	720,4	722,2		

Fortsetzung Tabelle 5.1.3-4: AIC-Werte der Haupt-(FP2) und Sensitivitätsanalyse (FP4): Erweiterung der Schwellen für Tagesdosis (0,5 kNh, 1,0 kNh) und Druckkraft (3,5 kN ... 12,0 kN); alle farbig markierten Werte bilden die 95 %-Konfidenzmenge, fett hervorgehoben sind die jeweiligen AIC Minima (Bestmodell)

Variation	Schwelle	Gr.	Modell	FG1	FG1	FG2	FG2	FG3	FG3	FG4	FG4	multi-model	
				FP2	FP4	FP2	FP4	FP2	FP4	FP2	FP4	ohne 200er Modelle	mit 200er Modellen
Schwelle Rumpfbeugung	20°	3	I_D_114k1	942,2	943,0	946,8	945,0	617,7	618,0	716,4	718,5		
Schwelle Rumpfbeugung	45°	3	I_D_101k1	943,7	942,4	947,9	945,9	620,6	621,3	714,6	717,1	FG1, FG2, FG3	FG1, FG2, FG3
Schwelle Rumpfbeugung	75°	3	I_D_115k1	948,0	942,3	947,7	944,1	622,4	622,0	717,8	718,1	FG4	FG4
Schwelle Rumpfbeugung	90°	3	I_D_116k1	947,1	943,4	954,1	951,2	620,1	620,7	715,0	716,1		
mit Ziehen etc. 45°		4	I_D_101k1	943,7	942,4	947,9	945,9	620,6	621,3	714,6	717,1		
ohne Ziehen etc. 45°		4	I_D_117k1	946,3	943,4	948,0	945,9	618,7	620,9	714,6	717,1		
mit Ziehen etc. 45°		5	I_D_101k1	943,7	942,4	947,9	945,9	620,6	621,3	714,6	717,1		
ohne Ziehen etc. 90° "BSG"		5	I_D_118k1	951,0	946,8	952,2	952,2	620,3	621,2	717,0	718,0		

Nach diesem Überblick über die Ergebnisse der Schwellenwert-Variation werden im Folgenden die entsprechenden Lebensdosiswerte gesondert für die fünf Modellgruppen bei separater Schwellenwert-Variation sowie für den Vergleich der beiden Berechnungsarten bei den Kombinationsmodellen – via „Der Dortmunder“ bzw. via „Bestimmungsgleichungen“ – vorgestellt, um die Effekte aufgrund der unterschiedlich angenommenen Kriterien bzw. veränderten Berechnungsbedingungen zu verdeutlichen. Während die Anzahl der Tagesdosis-Paare je Diagramm etwa 9.000 bzw. 8.400 (mit/ohne Doppelinterviews) betrug, basieren die aktuellen Diagramme auf etwa 1.800 Lebensdosis-Paaren (ohne Doppelinterviews).

5.1.3.2.1 Modellgruppe 1: Variation von Tagesdosisschwellen

In Abbildung 5.1.3-7 sind die Lebensdosiswerte für die zehn Modelle der Modellgruppe 1 (Dosismodell 101 bis 108 sowie 201 und 202), bei denen die Schwelle der Tagesdosis von 0 bis 10,0 kNh variiert wurde, dargestellt. Wie anhand der Tagesdosiswerte in Abbildung 5.1.3-1 skizziert, in der die Veränderung der Tagesdosisschwelle in den neun Diagrammen jeweils im Vergleich zum Grundmodell 101 ohne Schwelle gezeigt ist, enthält die aktuelle Abbildung neun Diagramme mit den korrespondierenden Lebensdosiswerten. Demzufolge ist das Verhalten der Punkteverteilung in den Diagrammen ähnlich, aber nicht identisch: Während bei der Gegenüberstellung der Tagesdosen in Abbildung 5.1.3-1 sämtliche Punkte auf der Identitätslinie lagen oder je nach vorausgesetzter Tagesdosisschwelle auf der Abszisse – dieser Abschnitt mit „Null-Werten“ erstreckte sich vom Koordinatenursprung bis zum jeweiligen Schwellenwert von 0,5 bis hin zu 10,0 kNh –, liegen die Lebensdosis-Punkte in den aktuellen Diagrammen im „unteren Winkelfeld“ zwischen Identitätslinie und Abszisse.

Bei geringer Tagesdosisschwelle wie bei Dosismodell 201 (0,5 kNh, s. Diagramm oben links) sind die Abweichungen relativ zum Grundmodell eher marginal, d. h., Abweichungen von der Gleichheitslinie sind kaum zu erkennen. Mit zunehmender Tagesdosisschwelle nimmt die Anzahl der Punkte im unteren Winkelfeld zu; offensichtlich ist bereits eine Tagesdosisschwelle von beispielsweise 3,0 kNh nicht unerheblich (s. Diagramm zu DoMo 103 vs. 101), da sie sich auch auf die Lebensdosis erkennbar auswirkt: Etwa 1.100 Lebensdosen und somit mehr als die Hälfte der Werte sind bei Anwendung des Modells 103 niedriger als beim Grundmodell. Bei Anwendung der höchsten Schwelle von 10,0 kNh entsprechend DoMo 108 sind nur noch weniger als 400 Lebensdosiswerte unverändert, und etwa 1.000 zusätzliche Lebensdosen werden bei DoMo 108 auf Null gesetzt, verglichen mit dem Grundmodell; im Diagramm unten rechts wird dies durch eine verteiltere Punktebelegung im unteren Winkelfeld sowie die Punkte auf der Abszisse deutlich.

Vergleich von Lebensdosis-Werten
Modellgruppe 1: Variation von Tagesdosis-Schwellen

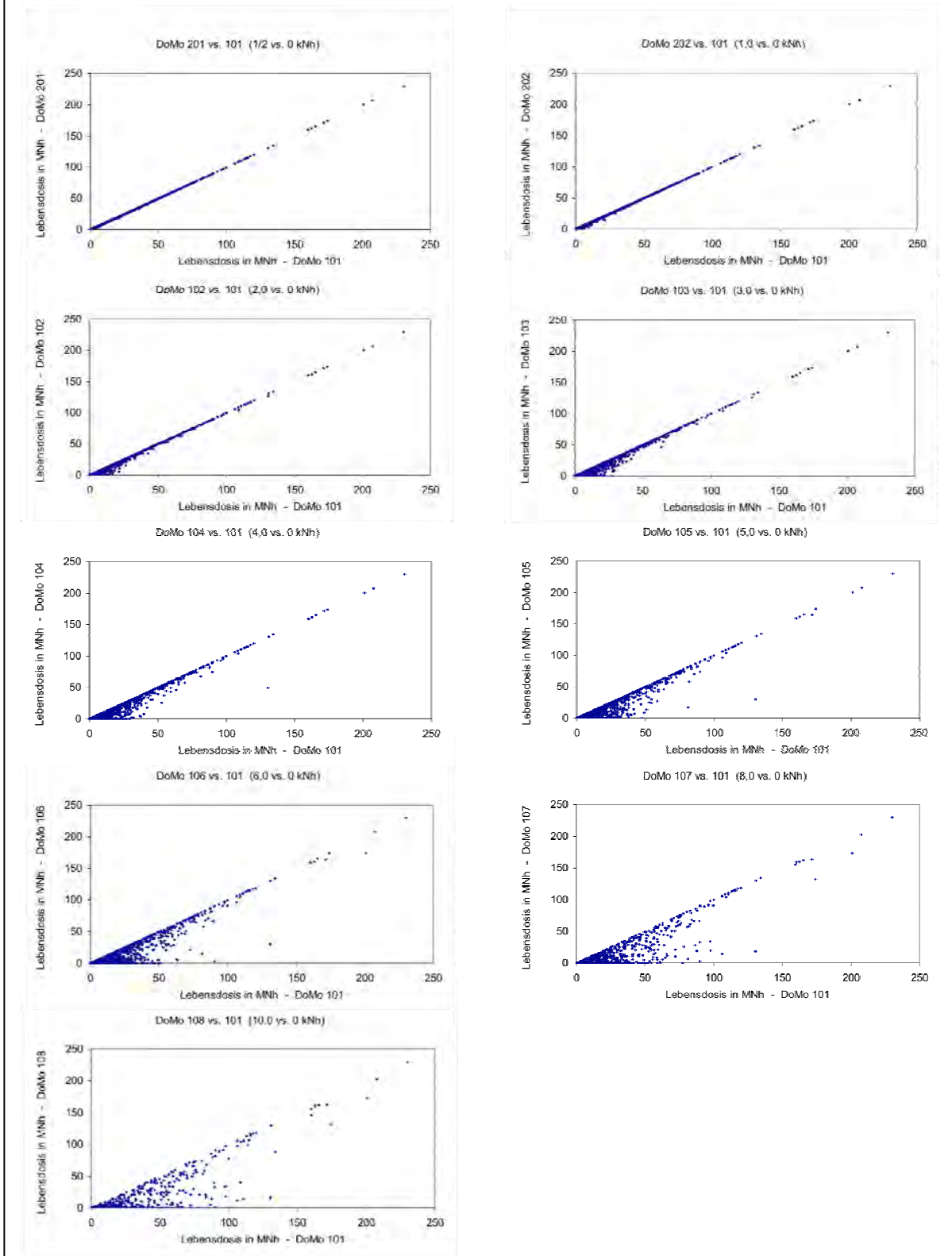


Abbildung 5.1.3-7: Übersicht zu Lebensdosiswerten bei Modellgruppe 1 – Auswirkung verschiedener Tagesdosissschwellen zwischen 0 und 10,0 kNh (Dosismodelle 101 bis 108 sowie 201 und 202) auf die Lebensdosis

5.1.3.2.2 Modellgruppe 2: Variation von Druckkraftschwellen

Abbildung 5.1.3-8 zeigt eine Übersicht zur Auswirkung der Variation der Druckkraftschwelle von 2,0 bis 12,0 kN – dies entspricht Modellgruppe 2 – auf die Verteilung der Lebensdosis. Analog zu Abbildung 5.1.3-2 mit der entsprechenden Übersicht zu Tagesdosen enthält auch die aktuelle Übersicht 15 Diagramme, bei denen die Dosiswerte zum Grundmodell auf der Abszisse abgetragen sind und die der Modelle mit höheren Kraftschwellen an den Ordinaten. Das Punktemuster ist ähnlich dem der Diagramme zum Tagesdosis-Vergleich (Abb. 5.1.3-2) mit Belegungen im unteren Winkelfeld, allerdings ist diese erkennbar spärlicher aufgrund der niedrigeren Anzahl zugrundeliegender Wertepaare (etwa 1.800 vs. 9.000). Unterscheidet sich die Druckkraftschwelle von der des Grundmodells relativ geringfügig wie bei Dosismodell 109 ($2\frac{1}{4}$ vs. 2,0 kN), sind auch die Lebensdosen ähnlich, d. h., mit etwa 1.300 von 1.800 Wertepaaren insgesamt liegen vergleichsweise viele Punkte auf der Identitätslinie (ca. 950 nicht im Koordinatenursprung). Dieser Anteil gleicher Dosiswerte wird bei einer Druckkraftschwelle von 3,0 kN anstatt $2\frac{1}{4}$ kN deutlich verringert (Diagramm 2. Zeile links: DoMo 112 vs. 101); nur etwa 200 Lebensdosen, außer Nullwerten, sind bei beiden Modellen gleich. Bei der höchsten angenommenen Druckkraftschwelle von 12,0 kN wird jener Anteil von Gleichwerten auf etwa 70 verringert. Darüber hinaus werden durch Anwendung dieser sehr hohen Schwelle etwa 260 Lebensdosen auf Null gesetzt, d. h., die betreffenden Probanden weisen keine Expositionen auf, die bei der Lebensdosis-Kumulation berücksichtigt werden. Dieser Effekt ist bei geringerer Druckkraftschwelle deutlich weniger ausgeprägt; beispielsweise ergaben sich bei Anwendung von Dosismodell 112 (3,0 kN) annähernd 200 Lebensdosen, die im Vergleich zum Grundmodell zusätzlich auf Null gesetzt wurden, während dies bei Dosismodell 109 ($2\frac{1}{4}$ kN, siehe Diagramm oben links) nur einen einzigen Lebensdosiswert betraf.

Vergleich von Lebensdosis-Werten Modellgruppe 2: Variation von Druckkraft-Schwellen

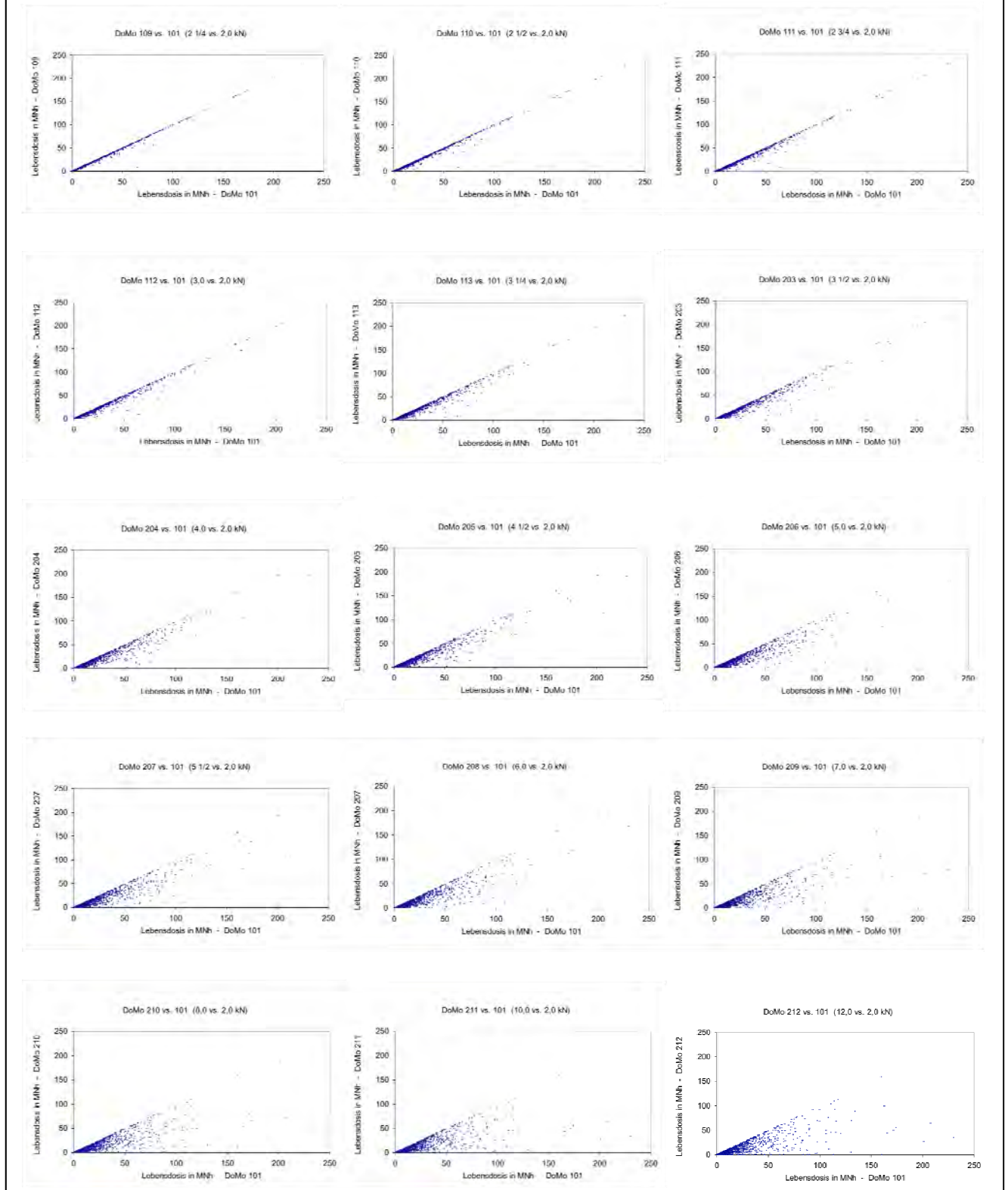


Abbildung 5.1.3-8: Übersicht zu Lebensdosiswerten bei Modellgruppe 2 – Auswirkung verschiedener Druckkraftschwellen zwischen 2,0 und 12,0 kN (Dosismodelle 101 sowie 109 bis 113 und 203 bis 212) auf die Lebensdosis

Insgesamt zeigt das Diagramm unten rechts auch, welche Anteile an der Lebensdosis auf Expositionen durch Körperhaltungen ohne Lastenhandhabung vorliegen: Da durch die sehr hohe Druckkraftschwelle bei Dosismodell 212 alle Lastenhandhabungs-Expositionen bis auf ganz wenige „ausgesondert“ werden und dennoch nicht alle Punkte auf der Abszisse liegen, repräsentieren die Punkte im unteren Winkelfeld des Diagramms Belastungen durch Körperhaltung ohne Lastenhandhabung.

5.1.3.2.3 Modellgruppe 3: Variation von Rumpfvorneigungsschwellen

In Abbildung 5.1.3-9 sind die Lebensdosis-Vergleiche zu Modellgruppe 3 aufgeführt, bei der die Schwelle der Rumpfvorneigung bei Körperhaltungs-Expositionen zwischen 20 und 90° variiert wurde. Dies bedeutet einerseits, dass die Lebensdosis-Anteile durch Lastenhandhabung von dieser Schwellensetzung unbeeinflusst bleiben, und andererseits, dass die Ergebnisdarstellung auf nur drei Diagrammen basiert, weil die Schwelle im Vergleich zum Grundmodell bei der TAD-Erfassung zu den externen Belastungsfaktoren vergleichsweise grobstufig ermittelt wurde.

Im Diagramm oben links liegt eine Reihe von Punkten im oberen Winkelfeld zwischen Ordinate und Identitätslinie, und somit haben sich gleiche oder höhere Lebensdosen bei Anwendung von Dosismodell 114 ergeben im Vergleich zum Grundmodell; dies ist auf die niedrigere Rumpfvorneigungsschwelle zurückzuführen (20 anstatt 45°), betrifft etwa 1.300 Lebensdosen und verdeutlicht, dass etwa zwei Drittel aller Probanden diesen Expositionstyp von 20°-Körperhaltungen ohne Lastenhandhabung aufweisen. Im Gegensatz dazu ist die Schwelle bei den beiden anderen Diagrammen dieser Abbildung rigider als beim Grundmodell, so dass sich Punkte im unteren Winkelfeld ergeben (DoMo 115 bzw. 116 vs. 101). Expositionen mit einer 45°- oder 75°-Rumpfvorneigung weisen jeweils etwa 1.100 Probanden auf; dies verdeutlicht die große Häufigkeit des Auftretens derartiger Belastungen und somit die Relevanz von Körperhaltungen, auch wenn keine Lasten gehandhabt werden.

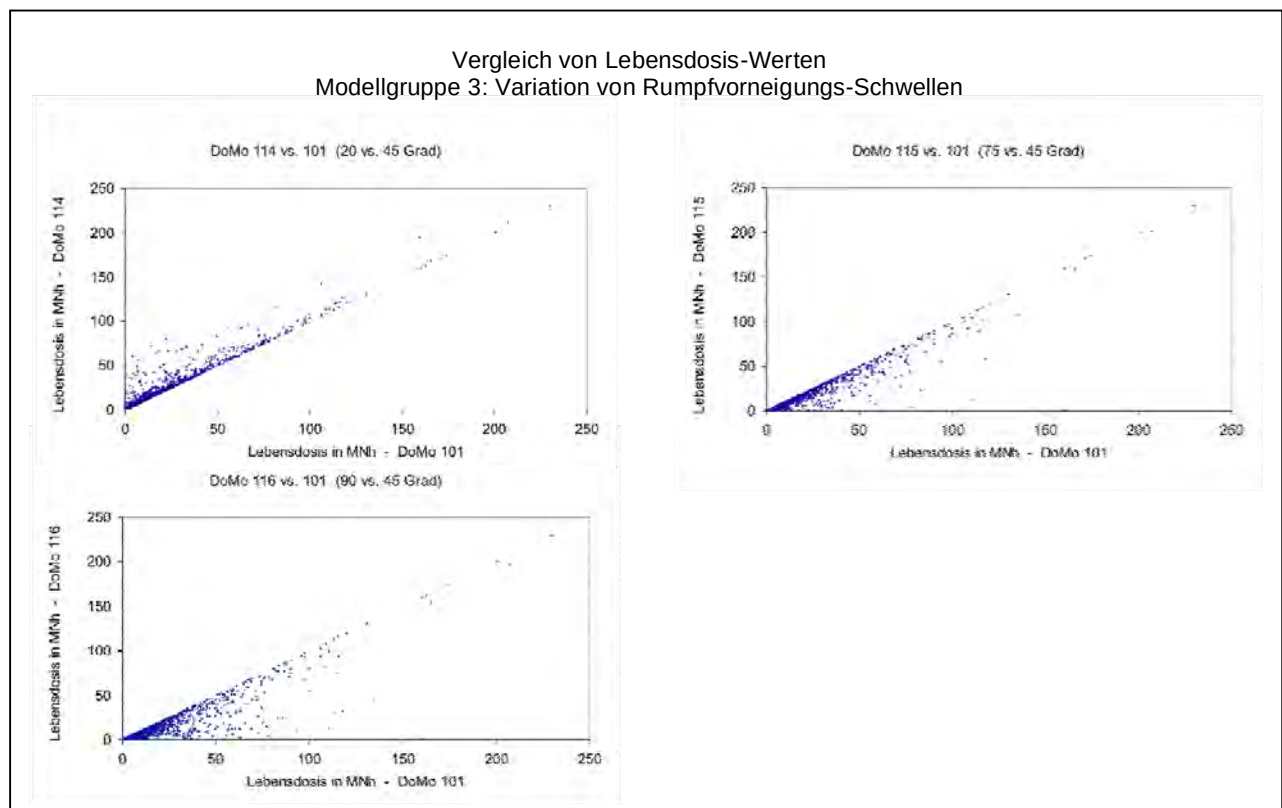


Abbildung 5.1.3-9: Übersicht zu Lebensdosiswerten bei Modellgruppe 3 – Auswirkung verschiedener Rumpfvorneigungsschwellen zwischen 20 und 90° (Dosismodelle 101 sowie 114 bis 116) auf die Lebensdosis

Bei Dosismodell 114 sind durch die weniger strenge Schwelle etwa 20 Lebensdosen weniger auf Null gesetzt als beim Grundmodell (Punkte auf Ordinate), während diese Anzahl bei DoMo 115 um etwa 30 und bei DoMo 116 um etwa 50 höher ist als bei DoMo 101 (Punkte auf Abszisse). Dies bedeutet, dass bei den zunächst genannten 20 Probanden keinerlei Lastenhandhabungs- und somit ausschließlich Körperhaltungs-Expositionen vorlagen und diese mit einer Rumpfvorneigung von 20°, sowie bei der Gruppe von 30 Personen ausschließlich Körperhaltungs-Expositionen mit 45°; die 50-Personen-Gruppe wies demzufolge ausschließlich Körperhaltungs-Expositionen von 75° auf. Unbeeinflusst durch die Variation der Rumpfvorneigungsschwelle blieben bei Anwendung des 20°-Modells etwa 150 Lebensdosiswerte und bei den 75°- bzw. 90°-Modellen etwa 400 bzw. 120 Lebensdosen – jeweils bei Nicht-Einbeziehung der „Doppel-Nullwerte“, d. h. der Lebensdosen, die bei beiden im jeweiligen Diagramm berücksichtigten Dosismodellen den Wert Null aufweisen.

5.1.3.2.4 Modellgruppe 4: Variation der Handhabungsarten

Abbildung 5.1.3-10 fokussiert auf die Einbeziehung bzw. Vernachlässigung von Lastenhandhabungs-Expositionen wie Ziehen oder Schieben, Fangen oder Werfen von Lasten sowie andere Kraftaufwendungen. Die Anzahl von Lebensdosen, die durch diese Kriteriumsveränderung bei der Dosiskumulation beeinflusst werden, sind vergleichsweise selten (ca. 400). Da das Dosismodell 117 das strengere Kriterium aufweist – Ausschließen von Hebe-und-Trage-komplementären Lastenhandhabungen –, liegen die betreffenden Punkte im unteren Winkelfeld. Bei keinem Probanden lagen ausschließlich Expositionen vor, die durch Anwendung des Dosismodells 117 ausgeschlossen werden, d. h., alle Probanden mit Expositionen gegenüber Ziehen oder Schieben usw. wiesen auch Belastungen durch Heben, Tragen oder besondere Körperhaltungen auf.

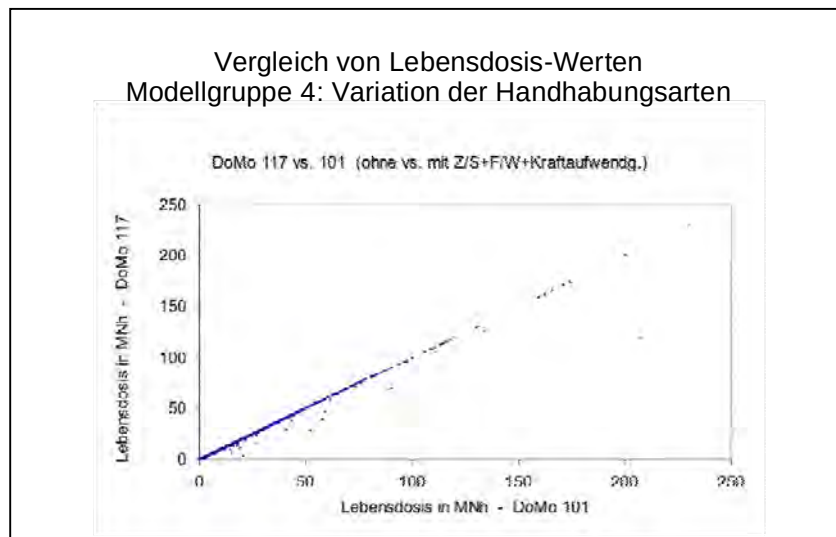


Abbildung 5.1.3-10: Übersicht zu Lebensdosiswerten bei Modellgruppe 4 – Auswirkung der Einbeziehung bzw. Nicht-Berücksichtigung von Lastenhandhabungen außer Heben, Halten und Tragen (Dosismodelle 101 und 117) auf die Lebensdosis

5.1.3.2.5 Modellgruppe 5: Vergleich von BSG-Modell und Grundmodell

In Abbildung 5.1.3-11 sind die Lebensdosiswerte bei Anwendung des Modells des Bundessozialgerichts und des Grundmodells dargestellt, wobei jeweils nur die annähernd 900 Werte für Männer eingetragen sind. Da beim BSG-Modell drei Eigenschaften bezogen auf das Referenzmodell variiert werden, ist die Anzahl identischer Werte vergleichsweise gering (ca. 40). Da die Schwellenwerte sowohl bezüglich der Rumpfvorneigung (90° anstatt 45°) als auch hinsichtlich der Bandscheiben-Druckkraft (2,7 anstatt 2,0 kN) deutlich verändert sind,

unterscheiden sich auch die resultierenden Lebensdosiswerte erheblich, wie an der weiten Verteilung der Punkte im unteren Winkelfeld des Diagramms erkennbar ist. Demzufolge bleiben bei Anwendung von DoMo 118M relativ viele Expositionen bei der Dosiskumulation unberücksichtigt, was sich in etwa 180 zusätzlichen Nullwerten im Vergleich zum Grundmodell widerspiegelt (Punkte auf Abszisse).

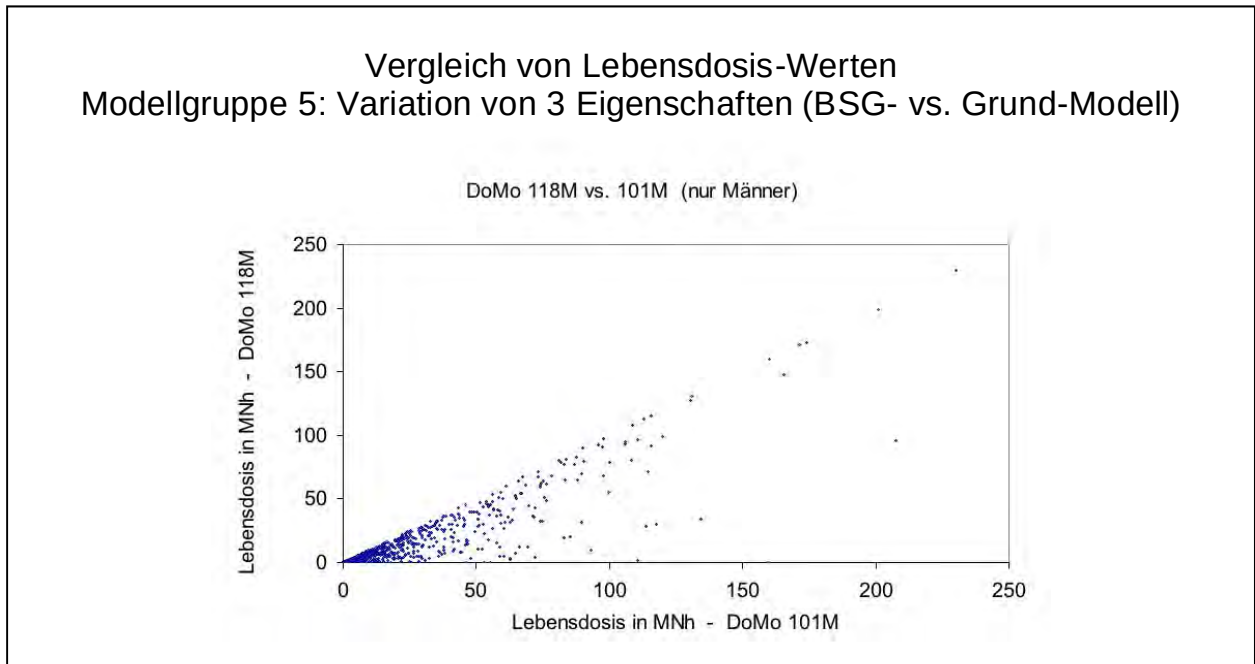


Abbildung 5.1.3-11: Übersicht zu Lebensdosiswerten bei Modellgruppe 5 – Auswirkung der Variation von drei Eigenschaften im BSG-Modell im Vergleich zum Grundmodell (Dosismodelle 101 und 118), bezogen auf die für Männer erhobenen Daten (s. „M“ an Modellnummer), auf die Lebensdosis

5.1.3.2.6 Kombinationsmodelle: Zwei Arten der Druckkraft-Schätzung

Abbildung 5.1.3-12 ist analog zu Abbildung 5.1.3-6 konfiguriert und unterscheidet sich nur bezüglich des zugrundeliegenden Datenpools: Lebens- anstatt Tagesdosen. Dies bedeutet:

- (i) dass auch die aktuell dargestellten Diagramme auf den geschlechtsspezifischen Daten-Untergruppen basieren,
- (ii) dass untereinander die Ergebnisse für die vier Fallgruppen und
- (iii) nebeneinander die Ergebnisse für die beiden verschiedenen angenommenen Rumpfvorneigungsschwellen von 45 bzw. 75° dargestellt sind und
- (iv) dass bei jedem der Diagramme an der Ordinate die Lebensdosiswerte auf Basis der 400er Modelle und
- (v) an der Abszisse die Werte bei Anwendung der 300er Modelle abgetragen sind.

Vergleich von Lebensdosis-Werten
Kombinationsmodelle: Variation der Berechnungsart

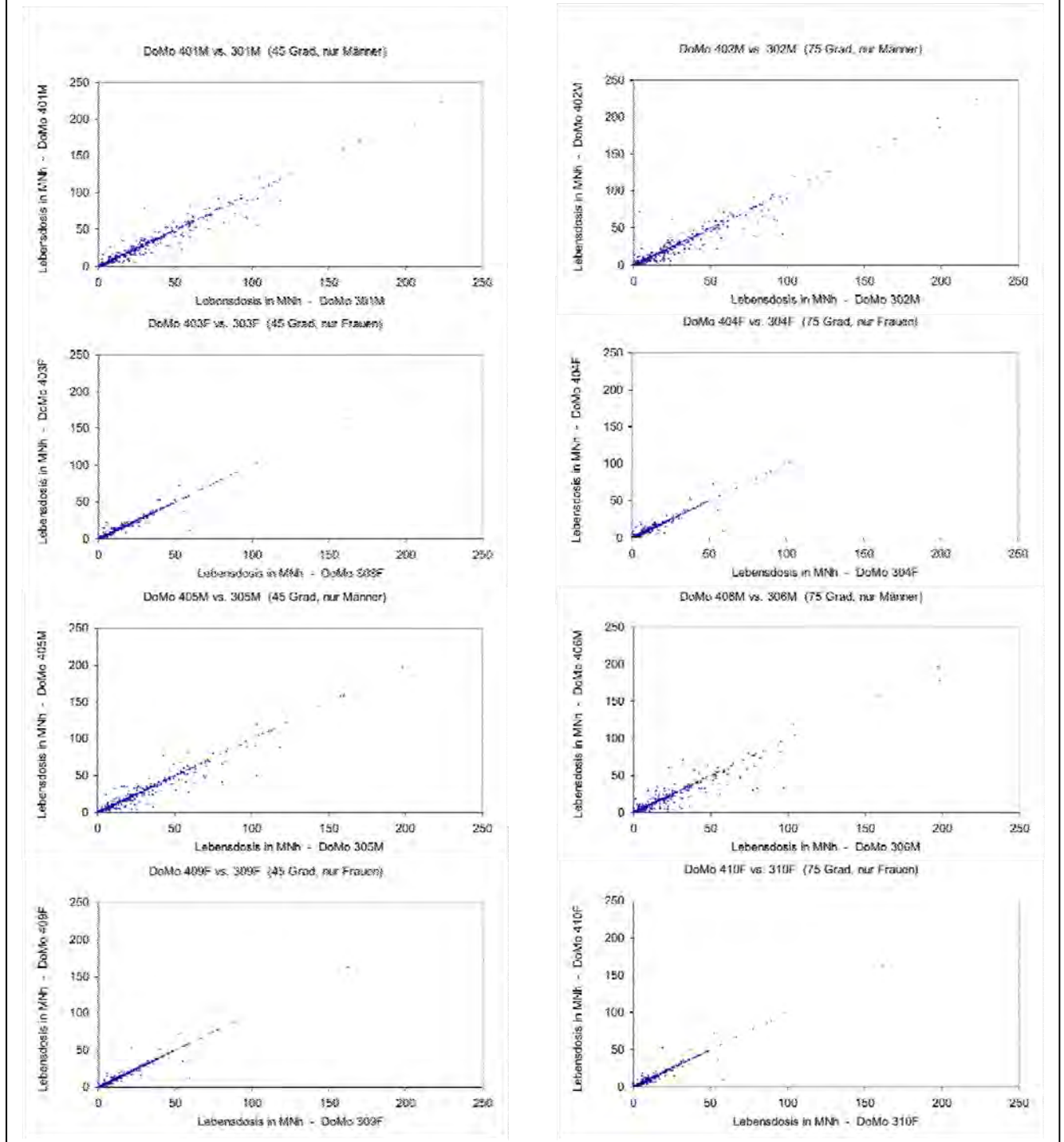


Abbildung 5.1.3-12: Übersicht zu Lebensdosiswerten für die Kombinationsmodelle der vier Fallgruppen – Auswirkung der Variation der Berechnungsart bei der Schätzung der Bandscheiben-Druckkraft via „Dortmunder“ (300er Modelle) bzw. via „Bestimmungsgleichungen“ (400er Modelle), jeweils bezogen auf die für Männer bzw. Frauen erhobenen Daten (s. „M“ oder „F“ an Modellnummer), auf die Lebensdosis

Die acht Diagramme in Abbildung 5.1.3-12 verdeutlichen, dass viele Punkte auf der Identitätslinie liegen und somit für eine gute Übereinstimmung zwischen der Berechnung der Bandscheiben-Druckkraft mittels Bestimmungsgleichungen (400er Modelle) im Vergleich zur Berechnung via Dortmunder (300er Modelle) sprechen. Hierbei ist anzumerken, dass ein Teil dieser Übereinstimmungen auch auf die Übernahme einer Reihe von Werten aus den Bereichen Pflege, Land- und Forstwirtschaft zurückzuführen ist. Weiterhin zeigen die abweichenden Punkte beidseits der Identitätslinie, dass Berechnungen mittels der 400er Modelle sowohl zu einer Über- als auch einer Unterschätzung im Vergleich zur Berechnung via Dortmunder führen können.

Gegensätzlich zu den Darstellungen der Tagesdosen wird in den aktuellen Lebensdosisbezogenen Diagrammen die Wirkung der Tagesdosischwelle von 2,0 kNh bei Männern bzw. 0,5 kNh bei Frauen nicht durch eine Lücke in der Nähe der Achsen deutlich, da auf Null gesetzte Tagesdosen aufgrund von Expositionen in anderen Schichten normalerweise nicht zu einer Null-Lebensdosis führen. Der Vergleich der Wertebereiche für Männer und Frauen zeigt, dass allenfalls vereinzelt Dosiswerte bei Männern oberhalb 100 MNh liegen, während die Lebensdosen bei Frauen bis etwa 50 MNh reichen. Detaillierte Quantifizierungen, wenn auch auf die Tagesdosis bezogen, werden in Kap. 5.2 vorgestellt.

5.1.3.3 Vergleich der ermittelten Dosismodelle und Ermittlung der Bestmodelle

Die in Tabelle 5.1.3-4 farbig hervorgehobenen 95 %-Modellkonfidenzmengen bilden die Grundlage für die anschließende Modellmittelung („multi-model approach“ MMA, vgl. Burnham und Anderson, 2002). Als wesentliches Problem einer möglichen Gleichsetzung von „Modellen innerhalb der 95 %-Modellkonfidenzmenge“ mit den „Bestmodellen“ stellte sich heraus, dass bezüglich der Fallgruppe 4 (weibliche Chondrose-Patienten) in die Modellmittelung auch Modelle eingehen, die alle Belastungen durch Lastenhandhabungen unterhalb sehr hoher Druckkraftschwellen (bis zu 12,0 kN) ignorieren. Dagegen verbleiben in den Fallgruppen 1, 2 und 3 nur Modelle mit „eher moderaten“ Druckkraftschwellen in der 95 %-Modellkonfidenzmenge. Damit verschiebt sich die „mittlere“ Druckkraftschwelle für die Fallgruppe 4 durch Hinzunahme der 200er Modelle von $2\frac{1}{4}$ kN auf $2\frac{3}{4}$ kN nach oben. Diesbezüglich ist darauf hinzuweisen, dass die Dosismodelle mit hohen Druckkraftschwellen aufgrund ihrer AIC-Differenzen zum AIC-Minimum nur mit geringem Gewicht in die Mittelung eingehen. Dosismodelle mit derart hohen Druckkraftschwellen werden als in der Praxis nicht

vermittelbar interpretiert und darüber hinaus als wissenschaftlich nicht begründbar angesehen.

Deshalb wurden Kriterien geprüft, die Modelle mit sehr hoher Druckkraftschwelle aus der MMA begründet ausschließen. Somit betrifft eine Einschränkung der Variation der Druckkraftschwellen lediglich die „erweiterte“ Variation (200er Modelle, Modellgruppe 2). Als Kriterium zur Ermittlung der Bestmodelle wurde insbesondere die „Relevanz“ von Tätigkeiten geprüft, die sich in der Auftretenshäufigkeit widerspiegelt, d. h., die Prüfung der Dosis-Wirkungs-Beziehung sollte auf Basis von „relevant häufig vorkommenden Belastungen“ erfolgen bzw. die Dosis-Wirkungs-Beziehung sollte nicht auf nur relativ selten vorkommenden Belastungen basieren. Als Grenzkriterium wurde dazu der Wert „95 % aller Vorgänge bis zur Diagnosestellung“ gewählt, und als Grundlage wurden frühere Ergebnisse zur Häufigkeit auftretender Druckkräfte, die in „Zusatzanalysen zur Deutschen Wirbelsäulen-studie“ erarbeitet wurden, herangezogen (Jäger et al. 2011). In diesem Zusammenhang zeigt Abbildung 5.1.3-13 Häufigkeitsverteilungen für Druckkräfte für die vier Fallgruppen sowie für männliche und weibliche Kontrollpersonen; die betreffende Anzahl von Belastungsvorgängen, die mit einer gewissen Druckkraft auf die lumbosakrale Bandscheibe verbunden sind, wurden bei Fällen bis zur Diagnosestellung und bei Kontrollen bis zum Zeitpunkt der Expositionserhebung mit Hilfe des detaillierten Zweitinterviews durch die Technischen Aufsichtsdienste der Unfallversicherungsträger – spezifisch für die sechs Subgruppen – aufsummiert. Die Häufigkeitsdiagramme sind in „Linienzugdarstellung“ gezeigt, um den Vergleich der Ergebnisse zu Prolaps- („disc herniation“), Chondrose- („disc narrowing“) und Kontrollpersonen („controls“) zu erleichtern.

Wie die Häufigkeitsverteilungen zeigen, sind hohe Häufigkeiten bei Männern bis etwa 6,0 kN zu finden, bei Frauen bis etwa 4,0 kN. Mit Bezug auf das Belastungsprofil von Frauen bedeutet dies, dass die hohe Häufigkeit von vergleichsweise niedrigen Druckkräften auf Expositionen durch Körperhaltungen und dem Handhaben relativ leichter Lastobjekte zurückzuführen ist. In Hinsicht auf die hohe Anpassungsgüte von Dosismodellen mit hoher Druckkraftschwelle bei weiblichen Chondrose-Patienten in Fallgruppe 4 muss demnach davon ausgegangen werden, dass auch noch höhere Druckkraftschwellen eine ähnlich gute Anpassung zur Folge hätten, da durch Anwendung dieses auf Lastenhandhabungen bezogenen Kriteriums die Körperhaltungsexpositionen weiterhin nicht betroffen wären und zur Beschreibung der Dosis-Wirkungs-Beziehung genutzt würden. Daraus wurde geschlossen, dass die gefundene hohe Anpassungsgüte von „Hoch-Schwellen-Modellen“ für Fallgruppe 4 zwar ein statistisch korrektes Ergebnis darstellt, das aber dennoch der Hinterfragung nach biologischer Plausibilität bedarf.

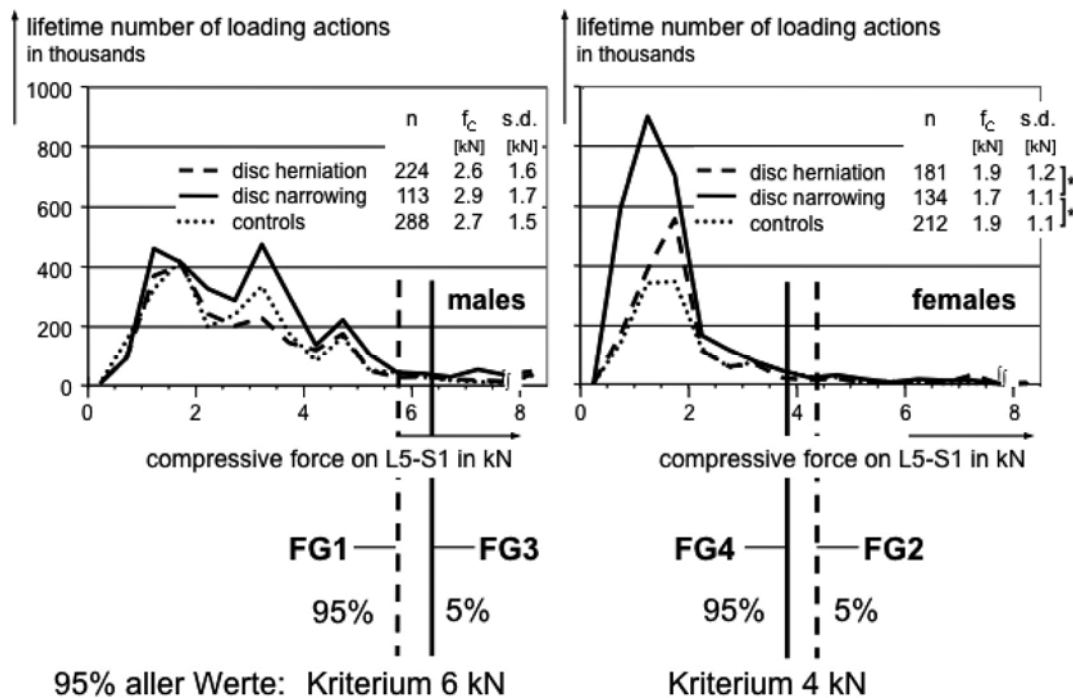


Abbildung 5.1.3-13: Variation von Bandscheiben-Druckkräften (nach Jäger et al. 2011) – Häufigkeitsverteilungen (Linien) und statistische Kennwerte (eingefügte Tabellen) für die Anzahl von Belastungsvorgängen, die mit einer gewissen Druckkraft auf die lumbosakrale Bandscheibe einhergehen (Mittelwert: f_c ; Klassenbreite: 0,5 kN) bis zur Diagnosestellung bei Fällen bzw. bis zum TAD-Interview bei Kontrollen, für männliche und weibliche Probanden (linkes bzw. rechtes Diagramm).

Auf Basis der Häufigkeitsverteilungen wurde das jeweilige 95. Perzentil als Vertikale für die vier Fallgruppen nachträglich eingetragen: Für die Fallgruppen männlicher Patienten ergaben sich Werte um 6,0 kN, für die von weiblichen Patienten um 4,0 kN, so dass einheitliche Werte für Männer bzw. Frauen – trotz verschiedener Erkrankungsart „Prolaps“ bzw. „Chondrose“ – vereinbart wurden. Dies bedeutet für die Auswahl von Bestmodellen der Modellgruppe 2 mit variierter Druckkraftschwelle, dass in der „Hauptanalyse“ nur Modelle mit Schwellen bis 6,0 kN bei Männern und bis 4,0 kN bei Frauen in der Multi-Modell-Analyse zur Definierung der Druckkraftschwelle in einem Kombinationsmodell einbezogen werden; in der Nebenanalyse werden alle Modelle der 95 %-Konfidenzmenge berücksichtigt. Zusammenfassend ist mit dieser Vorgehensweise ein biomechanisch-epidemiologisches Kriterium gesetzt worden, das die Häufigkeitsrelevanz auftretender Expositionen hinsichtlich des Erkrankungsrisikos widerspiegelt.

5.1.3.4 Gleichzeitige Variation von Erhebungsschwellen nach Definition der Bestmodelle je Fallgruppe mit Hilfe des („ersten“) Multi-Modell-Ansatzes

Wie bereits an anderer Stelle angemerkt, wurden in DWS1 kategorisierte Analysen durchgeführt, d. h., es wurden alle individuellen Lebensdosiswerte einer Kategorie für identisch erklärt und insbesondere benachbarte Randwerte als relativ weit voneinander entfernt angesetzt und analysiert. Damit ist das Verfahren durch eine a priori gesetzte Anzahl und Lage der cut-points zwischen den Kategorien gekennzeichnet. Eine derartige Kategorisierung kann zu Informationsverlust, potenziellen Verzerrungen und Power-Einbußen führen. Die DWS-Richtwertestudie hatte sich daher das Ziel gesetzt, eine solche möglicherweise nachteilige Kategorisierung zu vermeiden. Es wurden stetige Analysen mit flexibler Kurvenform (fraktionale Polynome) zur Schätzung einer Verdopplungsdosis, d. h., der Lebensdosis bei der sich das Erkrankungsrisiko verdoppelt, angesetzt. Als Problem stellt sich heraus, dass viele Versionen stetiger Modelle (FP2 oder FP4, verschiedene Schwellenwerte für Druckkraft, Tagesdosis und Rumpfbeugung, vgl. Tabelle 5.1.3-2) in Betracht kommen, d. h., die Selektion nur eines Modells würde zu Informationsverlust führen. Das Konzept der Multi-Modell-Analyse sieht daher vor, alle relevanten Modelle beizubehalten und die darin enthaltene Information gewichtet zusammenführen. Diese Wichtung soll unter Verwendung der ermittelten AIC-Werte erfolgen und insgesamt die in den Daten der Studie enthaltene Information maximal ausschöpfen (siehe Text 14-1 im Anhang).

Als Ausgangsmenge dieser „ersten“ Multi-Modell-Mittlung (vgl. Kapitel 4.1.3.4) zu jeweils einer Fall- und Modellgruppe wird die gleichzeitige 95 %-Modellkonfidenzmenge zu FP2 und FP4 angesetzt (diese enthält auch alle Modelle mit Höchstdifferenz von 2 zum AIC-Bestwert). Die so erstellten Konfidenzmengen der verschiedenen Modellgruppen einer Fallgruppe werden vereinigt zu einer finalen „Modellklasse“ pro Fallgruppe, die dann gemäß dem multi-model approach verarbeitet wird.

Die sogenannten Referenzschwellendosen werden für jede Fall- und Modellgruppe auf Basis der Ergebnisse der AIC-Analysen (Mittlung) bestimmt. Diese Charakteristika (Schwellen) der Referenzdosen werden gleichzeitig (Unabhängigkeitsannahme) sowohl in die Dosismittlung via „Der Dortmunder“ als auch via „Bestimmungsgleichungen“ übernommen. Dies kann als eine Lösung des Problems, dass keine gemeinsamen Variationen der Schwellen der Modellvariablen Tagesdosis, Druckkraft, Rumpfbeugung und Ziehen durchgeführt wurden, angesehen werden. Die auf diesem Weg definierten „finalen Referenzdosen“ enthalten demnach alle gemittelten Modellcharakteristika simultan. Hervorzuheben ist, dass die zweite

Serie, die auf 11 Bestimmungsgleichungen für die Lastenhandhabung basiert (vgl. Tabelle 5.1.3.12), praxistauglich ist. Sollten mehrere solcher Kombinationsdosen für eine Fallgruppe in Betracht kommen, werden die AIC-Werte zu den zugehörigen Modellen bestimmt, um die beste finale Referenzdosis zu wählen.

Über die so ermittelten finalen Referenzdosen wird abschließend die Multi-Modell-Analyse der finalen Modellklasse pro Fallgruppe durchgeführt („zweite“ Multi-Modell-Analyse, vgl. Kapitel 5.1.4.1).

Mit Bezug auf die in Abbildung 5.1.3-13 dargestellten Häufigkeitsverteilungen und statistischen Kennwerte für die Anzahl von Belastungsvorgängen, die mit einer gewissen Druckkraft auf die lumbosakrale Bandscheibe einhergehen, war festgelegt worden, im Rahmen der Multi-Modell-Analyse zwischen einer Haupt- und einer Nebenanalyse zu unterscheiden. Die durch Kappung der „oberen 5 %“ der Verteilung der Druckkräfte entstehende Einschränkung betrifft dabei lediglich Modelle der Modellgruppe 2 (Druckkraftschwellenvariation). Es ergeben sich

- Druckkraftschwellen $\leq 6,0$ kN für Männer (FG 1 und FG 3)
- Druckkraftschwellen $\leq 4,0$ kN für Frauen (FG 2 und FG 4)

Damit sind Haupt- und Nebenanalyse wie folgt definiert:

- Hauptanalyse: MMA zu den Modellen in den Konfidenzmengen mit dieser zusätzlichen Einschränkung
- Nebenanalyse: MMA zu den Modellen in den Konfidenzmengen ohne diese zusätzliche Einschränkung

Im Folgenden werden die Auswirkungen der getroffenen Einschränkungen beispielhaft für die Fallgruppen 1 (Männer mit Prolaps) und 4 (Frauen mit Chondrose) dargestellt. Tabelle 5.1.3-5 zeigt für FG1 und Modellgruppe 2 (Variation der Druckkraftschwellen) das Modellranking nach AIC-Werten für das verwendete Grundmodell und die vereinbarten Grundconfounder.

Tabelle 5.1.3-5: Fallgruppe 1 (Männer mit Prolaps), Modellgruppe 2 (Variation der Druckkraftschwellen): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades

Modelltyp	Schwelle / N	FP	Rang	AIC	d_AIC	AIC_95
i_d_204k1	3950	4	1	940,383789	0	1
i_d_204k1	3950	2	2	941,745789	1,362	1
i_d_113k1	3200	4	3	942,010437	1,626648	1
i_d_101k1	1950	4	4	942,367004	1,983215	1
i_d_111k1	2700	4	5	942,476074	2,092285	1
i_d_203k1	3450	4	6	942,933167	2,549377	1
i_d_109k1	2200	4	7	943,130493	2,746704	1
i_d_112k1	2950	4	8	943,461609	3,07782	1
i_d_101k1	1950	2	9	943,717468	3,333679	1
i_d_110k1	2450	4	10	943,717529	3,33374	1
i_d_111k1	2700	2	11	944,559692	4,175903	1
i_d_109k1	2200	2	12	944,930115	4,546326	1
i_d_110k1	2450	2	13	945,123352	4,739563	1
i_d_113k1	3200	2	14	945,306885	4,923096	1
i_d_205k1	4450	2	15	945,404724	5,020935	1
i_d_206k1	4950	2	16	945,473389	5,0896	1
i_d_112k1	2950	2	17	945,989319	5,60553	1
i_d_207k1	5450	4	18	946,502075	6,118286	
i_d_203k1	3450	2	19	946,960754	6,576965	
i_d_205k1	4450	4	20	947,218384	6,834595	
i_d_208k1	5950	4	21	947,619873	7,236084	
i_d_208k1	5950	2	22	947,880859	7,49707	
i_d_207k1	5450	2	23	948,312378	7,928589	
i_d_211k1	9950	2	24	949,104675	8,720886	
i_d_212k1	11950	2	25	949,307617	8,923828	
i_d_209k1	6950	2	26	949,338318	8,954529	
i_d_211k1	9950	4	27	949,719604	9,335815	
i_d_209k1	6950	4	28	950,110352	9,726563	
i_d_210k1	7950	4	29	950,487976	10,104187	
i_d_210k1	7950	2	30	951,516357	11,132568	
i_d_206k1	4950	4	31	keine Konvergenz		
i_d_212k1	11950	4	32	keine Konvergenz		

Werden die 95 %-Modellkonfidenzmengen der weiteren Schwellenwertvariationen (Tagesdosisschwelle, Modellgruppe 1, und Rumpfbeugewinkel, Modellgruppe 3, sowie zusätzliche Lastenhandhabung (Ziehen etc.)) hinzugenommen (siehe Tabelle 5.1.3-4) verbleiben somit 29 Modelle, die in die Multi-Modell-Analyse einzubeziehen sind (Tabelle 5.1.3-6). Für alle Modelle der 95 %-Modellkonfidenzmenge liegen die Druckkraftschwellen unter 6,0 kN. Hauptanalyse und Nebenanalyse fallen demnach zusammen, die MMA zu FG1 erfolgt in jedem Fall zu insgesamt 29 Modellen.

Für Fallgruppe 4, Modellgruppe 2 (Variation der Druckkraftschwellen), ist das Modellranking nach AIC-Werten für das verwendete Grundmodell und die vereinbarten Grundconfounder in Tabelle 5.1.3-7 zusammengefasst. Unter Hinzunahme der Modellgruppen 1 und 3 sind zunächst 30 Modelle in die Multi-Modell-Analyse (Nebenanalyse) einzubeziehen (Tabelle 5.1.3-8).

Tabelle 5.1.3-6: Fallgruppe 1 (Männer mit Prolaps), drei Modellgruppen (Variation der Tagesdosis- und der Druckkraftschwellen sowie des Rumpfbeugewinkels und der Einbeziehung zusätzlicher Lastenhandhabungen (Ziehen etc.)): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades: Definition der Haupt- und Nebenanalyse

Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC	Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC
i_d_102k1	4	1	937,1774	0	i_d_114k1	4	16	942,9752	5,797791
i_d_102k1	2	2	939,2452	2,06781	i_d_109k1	4	17	943,1305	5,953125
i_d_204k1	4	3	940,3838	3,206421	i_d_116k1	4	18	943,38	6,202637
i_d_204k1	2	4	941,7458	4,56842	i_d_112k1	4	19	943,4616	6,284241
i_d_202k1	4	5	941,9843	4,806946	i_d_101k1	2	20	943,7175	6,5401
i_d_113k1	4	6	942,0104	4,833069	i_d_110k1	4	21	943,7175	6,540161
i_d_105k1	4	7	942,1676	4,990234	i_d_202k1	2	22	943,7468	6,569458
i_d_114k1	2	8	942,18	5,002625	i_d_111k1	2	23	944,5597	7,382324
i_d_115k1	4	9	942,2875	5,110107	i_d_109k1	2	24	944,9301	7,752747
i_d_101k1	4	10	942,367	5,189636	i_d_110k1	2	25	945,1234	7,945984
i_d_201k1	4	11	942,3818	5,204407	i_d_113k1	2	26	945,3069	8,129517
i_d_111k1	4	12	942,4761	5,298706	i_d_205k1	2	27	945,4047	8,227356
i_d_103k1	4	13	942,4822	5,304871	i_d_206k1	2	28	945,4734	8,296021
i_d_104k1	4	14	942,4847	5,307312	i_d_112k1	2	29	945,9893	8,811951
i_d_203k1	4	15	942,9332	5,755798					

Tabelle 5.1.3-7: Fallgruppe 4 (Frauen mit Chondrose), Modellgruppe 2 (Variation der Druckkraftschwellen): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades

Modelltyp	Schwelle / N	FP	Rang	AIC	d_AIC	AIC_95
i_d_101k1	1950	2	1	714,588257	0	1
i_d_110k1	2450	2	2	715,15387	0,565613	1
i_d_111k1	2700	2	3	715,848022	1,259766	1
i_d_109k1	2200	2	4	716,963745	2,375488	1
i_d_101k1	1950	4	5	717,096313	2,508057	1
i_d_110k1	2450	4	6	717,823975	3,235718	1
i_d_109k1	2200	4	7	718,002808	3,414551	1
i_d_111k1	2700	4	8	718,598938	4,010681	1
i_d_112k1	2950	4	9	718,646484	4,058228	1
i_d_112k1	2950	2	10	719,591736	5,003479	1
i_d_212k1	11950	2	11	720,390503	5,802246	1
i_d_113k1	3200	2	12	720,426514	5,838257	1
i_d_208k1	5950	4	13	720,821716	6,233459	1
i_d_211k1	9950	4	14	720,8479	6,259644	1
i_d_206k1	4950	4	15	721,022278	6,434021	1
i_d_211k1	9950	2	16	721,092224	6,503967	1
i_d_210k1	7950	4	17	721,180237	6,59198	1
i_d_210k1	7950	2	18	721,453003	6,864746	1
i_d_207k1	5450	4	19	721,486267	6,89801	1
i_d_113k1	3200	4	20	721,608215	7,019958	1
i_d_203k1	3450	2	21	721,859131	7,270874	1
i_d_206k1	4950	2	22	721,911377	7,32312	
i_d_207k1	5450	2	23	722,03949	7,451233	
i_d_208k1	5950	2	24	722,069214	7,480957	
i_d_204k1	3950	2	25	722,12738	7,539124	
i_d_212k1	11950	4	26	722,177856	7,5896	
i_d_205k1	4450	2	27	722,217529	7,629272	
i_d_205k1	4450	4	28	722,291687	7,70343	
i_d_204k1	3950	4	29	722,322205	7,733948	
i_d_209k1	6950	4	30	722,485657	7,8974	
i_d_209k1	6950	2	31	722,697083	8,108826	
i_d_203k1	3450	4	32	722,711914	8,123657	

Tabelle 5.1.3-8: Fallgruppe 4 (Frauen mit Chondrose), drei Modellgruppen (Variation der Tagesdosis- und der Druckkraftschwellen sowie des Rumpfbeugewinkels und der Einbeziehung zusätzlicher Lastenhandhabungen (Ziehen etc.)): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades: keine Einschränkung der Variation der Druckkraftschwellen, Definition der Nebenanalyse

Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC	Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC
i_d_101k1	2	1	714,5883	0	i_d_114k1	4	16	718,0884	3,500183
i_d_116k1	2	2	714,9561	0,367798	i_d_111k1	4	17	718,5989	4,010681
i_d_201k1	2	3	714,9996	0,411377	i_d_112k1	4	18	718,6465	4,058228
i_d_110k1	2	4	715,1539	0,565613	i_d_112k1	2	19	719,5917	5,003479
i_d_202k1	4	5	715,248	0,659729	i_d_212k1	2	20	720,3905	5,802246
i_d_202k1	2	6	715,7109	1,122681	i_d_113k1	2	21	720,4265	5,838257
i_d_111k1	2	7	715,848	1,259766	i_d_208k1	4	22	720,8217	6,233459
i_d_116k1	4	8	716,0858	1,497498	i_d_211k1	4	23	720,8479	6,259644
i_d_114k1	2	9	716,4221	1,833862	i_d_206k1	4	24	721,0223	6,434021
i_d_109k1	2	10	716,9637	2,375488	i_d_211k1	2	25	721,0922	6,503967
i_d_101k1	4	11	717,0963	2,508057	i_d_210k1	4	26	721,1802	6,59198
i_d_201k1	4	12	717,6605	3,072266	i_d_210k1	2	27	721,453	6,864746
i_d_110k1	4	13	717,824	3,235718	i_d_207k1	4	28	721,4863	6,89801
i_d_109k1	4	14	718,0028	3,414551	i_d_113k1	4	29	721,6082	7,019958
i_d_102k1	2	15	718,0406	3,452393	i_d_203k1	2	30	721,8591	7,270874

Für acht der betrachteten Modelle liegen die Druckkraftschwellen über 4,0 kN. Dies sind die Modelle: I_d_212k1 (12,0 kN, FP2), I_d_208k1 (6,0 kN, FP4), I_d_211k1 (10,0 kN, FP4), I_d_206k1 (5,0 kN, FP), I_d_211k1 (10,0 kN, FP2), I_d_210k1 (8,0 kN, FP4), I_d_210k1 (8,0 kN, FP2), I_d_207k1 (5,5 kN, FP4). Diese Modelle sind demzufolge aus der Hauptanalyse auszuschließen. Die Hauptanalyse für Fallgruppe 4 erfolgt also nicht für 30 sondern nur für 22 Modelle (Tabelle 5.1.3-9).

Tabelle 5.1.3-9: Fallgruppe 4 (Frauen mit Chondrose), drei Modellgruppen (Variation der Tagesdosis- und der Druckkraftschwellen sowie des Rumpfbeugewinkels und der Einbeziehung zusätzlicher Lastenhandhabungen (Ziehen etc.)): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades: Einschränkung der Variation der Druckkraftschwellen, Definition der Hauptanalyse

Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC	Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC
i_d_101k1	2	1	714,5883	0	i_d_114k1	4	16	718,0884	3,500183
i_d_116k1	2	2	714,9561	0,367798	i_d_111k1	4	17	718,5989	4,010681
i_d_201k1	2	3	714,9996	0,411377	i_d_112k1	4	18	718,6465	4,058228
i_d_110k1	2	4	715,1539	0,565613	i_d_112k1	2	19	719,5917	5,003479
i_d_202k1	4	5	715,248	0,659729	i_d_113k1	2	20	720,4265	5,838257
i_d_202k1	2	6	715,7109	1,122681	i_d_113k1	4	21	721,6082	7,019958
i_d_111k1	2	7	715,848	1,259766	i_d_203k1	2	22	721,8591	7,270874
i_d_116k1	4	8	716,0858	1,497498					
i_d_114k1	2	9	716,4221	1,833862					
i_d_109k1	2	10	716,9637	2,375488					
i_d_101k1	4	11	717,0963	2,508057					
i_d_201k1	4	12	717,6605	3,072266					
i_d_110k1	4	13	717,824	3,235718					
i_d_109k1	4	14	718,0028	3,414551					
i_d_102k1	2	15	718,0406	3,452393					

Analoge Darstellungen für die Fallgruppen 2 (Frauen mit Prolaps) und 3 (Männer mit Chondrose finden sich im Anhang (Tabellen 14-1, 14-2, 14-3 und 14-4).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass für die Fallgruppen 1, 2 und 3 die Haupt- und Nebenanalysen zusammenfallen, da die Einschränkung auf die 95 %-Modellkonfidenzmenge bereits die getroffene Zusatzeinschränkung für die Modellgruppe 2 (Variation der Druckkraftschwellen) beinhaltet. Lediglich für die Fallgruppe 4 (Frauen mit Chondrose) sind Haupt- und Nebenanalyse getrennt durchzuführen.

In Tabelle 5.1.3-10 sind die AIC-gewichteten Mittelwerte der Schwellen, die sich im Ergebnis der Multi-Modell-Analysen für Haupt- und Nebenanalyse ergeben haben, dargestellt.¹⁵

A priori war festgelegt worden (siehe Kap. 4.1.3.3), dass die daraus abzuleitenden Kombinationsmodelle, die durch eine gleichzeitige Schwellenwertvariation gekennzeichnet sind, diejenigen vordefinierten Schwellenwerte für Tagesdosis, Druckkraft und Rumpfbeugewinkel verwenden sollen, die den gemittelten Schwellen (Tabelle 5.1.3-10) möglichst nahe kommen. Damit resultieren aus der Multi-Modell-Analyse die in Tabelle 5.1.3-11 zusammengefassten Kombinationsmodelle. Zunächst hatte sich für die Fallgruppen 1 bis 3 eine Rumpfvorneigungsschwelle von 45°, für Fallgruppe 4 jedoch eine von 75° ergeben; da die Möglichkeit einer Einigung auf einheitliche Modelle für Männer (FG1 und 3) bzw. für Frauen (FG2 und 4) offengehalten werden sollte und aufgrund der Unsicherheit der Unabhängigkeitsannahme wurden in den weiteren Analysen Kombinationsdosismodelle stets mit beiden Rumpfbeuge-Schwellen von 45° und 75° angesetzt. Demzufolge ergaben sich für die vier Fallgruppen insgesamt vier Paare von Kombinationsmodellen, die mit den Ordnungsnummern 301 bis 308 versehen wurden (Tabelle 5.1.3-11).

¹⁵ Unterschiedliche Schwellenwerte für Männer und Frauen sind dabei als biologisch plausibel zu betrachten.

Tabelle 5.1.3-10: AIC-gewichtete Mittelwerte der Schwellen und Ableitung der Kombinationsdosismodelle

	Fallgruppe 1			Fallgruppe 2			Fallgruppe 3			Fallgruppe 4		
Modellgruppe	AIC-gew.MW der Schwelle	Dosis- modell	Modell- Schwelle	AIC-gew.MW der Schwelle	Dosis- modell	Modell- Schwelle	AIC-gew.MW der Schwelle	Dosis- modell	Modell- Schwelle	AIC-gew.MW der Schwelle	Dosis- modell	Modell- Schwelle
1 (Tagesdosis in Nh)	1950	102	1950	323	201	450	1584	102	1950	538	201	450
2 (Druckkraft in N)	3169	113	3200	2568	110	2450	4183	204	3950	2342 HA	110	2450
										2814 NA	111	2700
3 (Rumpfbeugung in °)	47,8	101	45	49,8	101	45	37	101	45	62	115	75

Tabelle 5.1.3-11: Übersicht der in Kombination variierten Eigenschaften der in der DWS-Richtwertestudie zusätzlich verwendeten acht Dosismodelle (Nr. 301-308) zur Berechnung der Schichtdosis in der „Hauptanalyse“ (nicht gesondert markiert) sowie in der „Nebenanalyse“ (Nr. 309 und 310), die nur für Fallgruppe 4 von den Ergebnissen zur Hauptanalyse abweicht

Modell- gruppe	Dosismodell Nr.	Schwelle Tagesdosis	Schwelle Druckkraft	Schwelle Rumpf- vorneigung	Ziehen/Schieben Fangen/Werfen Kraftaufwendung
Kombinations- modelle	301	2,0 kNh	3 ¼ kN	45°	mit
	302			75°	
	303	½ kNh	2 ½ kN	45°	
	304			75°	
	305	2,0 kNh	4,0 kN	45°	
	306			75°	
	307	½ kNh	2 ¼ kN	45°	
	308			75°	
Nebenanalyse zu FG4	309	½ kNh	2 ¾ kN	45°	
	310			75°	

Wie in Kapitel 5.1.3.3 beschrieben, wurde der Multi-Modell-Ansatz zum Einen mit sämtlichen „Einzelmodellen“ in der 95 %-Konfidenzmenge durchgeführt – dies ist die „Nebenanalyse“ – und zum Anderen nur mit denjenigen Modellen der Modellgruppe 2, deren Druckkraftschwellen nicht oberhalb von 6,0 kN bei Männern und von 4,0 kN bei Frauen liegen – dies ist die „Hauptanalyse“. Bei diesen Voraussetzungen haben sich bei den Fallgruppen 1 bis 3 jeweils die gleichen Schwellen für die Druckkraft in der Haupt- und Nebenanalyse ergeben, in Fallgruppe 4 jedoch unterschiedliche (vgl. Tabelle 5.1.3-10). Demzufolge wurden ausschließlich für Fallgruppe 4 zwei weitere Kombinationsmodelle definiert – je eines mit 45° und 75°, die als Nr. 309 und 310 bezeichnet wurden.

Die ermittelten Bestmodelle, die auf Basis von Druckkraft-Berechnungen mit dem Simulationswerkzeug „Der Dortmund“ und den nachfolgenden Schichtdosis-Berechnungen abgeleitet wurden, sollten nochmals hinsichtlich der Anpassungsgüte bei Einsatz der in Projektteil II abgeleiteten Bestimmungsgleichungen geschätzt werden. Dies bedeutet, dass die Eigenschaften der Dosismodelle identisch zu wählen waren und dass „lediglich“ die Erhebungsart der in die Dosisberechnung eingehenden Druckkräfte verschieden ist. In Kap. 5.2 werden die einzelnen Bestimmungsgleichungen erläutert. Zur einfachen Unterscheidung gegenüber den zuvor verwendeten Dosismodellen zur Schichtdosis-Berechnung – hier die als Bestmodelle zu interpretierenden Kombinationsmodelle – wurden Modellnummern ab

401 vergeben; die jeweiligen Eigenschaften der Modelle Nr. 401 bis 410 sind in Tabelle 5.1.3-12 aufgeführt und entsprechen denen der Modelle 301 bis 310.

Tabelle 5.1.3-12: Übersicht der in Kombination variierten Eigenschaften der in der DWS-Richtwertestudie zusätzlich verwendeten acht Dosismodelle (Nr. 401-408) zur Berechnung der Schichtdosis in der „Hauptanalyse“ (nicht gesondert markiert) sowie in der „Nebenanalyse“ (Nr. 409 und 410), die nur für Fallgruppe 4 von den Ergebnissen zur Hauptanalyse abweicht; die Eigenschaften sind identisch mit den Dosismodellen 301 bis 310, verschieden ist die Druckkraft-Schätzung via „Bestimmungsgleichungen“ anstatt via „Der Dortmunder“

Modell- gruppe	Dosismodell Nr.	Schwelle Tagesdosis	Schwelle Druckkraft	Schwelle Rumpf- vorneigung	Ziehen/Schieben Fangen/Werfen Kraftaufwendung
Kombinations- modelle	401	2,0 kNh	3 ¼ kN	45°	mit
	402			75°	
	403	½ kNh	2 ½ kN	45°	
	404			75°	
	405	2,0 kNh	4,0 kN	45°	
	406			75°	
	407	½ kNh	2 ¼ kN	45°	
	408			75°	
Nebenanalyse zu FG4	409	½ kNh	2 ¾ kN	45°	
	410			75°	

Um möglichst gleiche finale Referenzdosismodelle für Männer bzw. Frauen zu bekommen, wurden die Kombinationsdosismodelle für FG1 auch für FG3 und die Kombinationsdosismodelle für FG2 auch für FG4 erprobt. Somit ergaben sich für die Hauptanalyse

- $4 \times 2 = 8$ verschiedene Kombinationsdosismodelle für „Der Dortmunder“ (vgl. Tabelle 5.1.3-11) sowie
- $4 \times 2 = 8$ verschiedene Kombinationsdosismodelle für die „Bestimmungsgleichungen“ (vgl. Tabelle 5.1.3-12).

Insgesamt waren – wie in Tabelle 5.1.3-13 übersichtlich zusammengefasst - 14 Kombinationsdosismodellanalysen für den „Dortmunder“ sowie 14 Kombinationsdosismodellanalysen für die „Bestimmungsgleichungen“ auszuführen.

Tabelle 5.1.3-13: Bestimmung von Referenzdosen: $2 \cdot 14 = 28$ Analysen

Fallgruppe	Kombinationsmodelle	Anmerkung
Berechnung mit „Der Dortmunder“ zu 8 verschiedenen Kombinationsmodellen		
1	301, 302	
2	303, 304	
3	301, 302, 305, 306	2 Modellwiederholungen aus FG1
4 Hauptanalyse	303, 304	
4 Nebenanalyse	303, 304, 309, 310	2 Modellwiederholungen aus FG2
Berechnung mit „11 Bestimmungsgleichungen“ zu 8 verschiedenen Kombinationsmodellen		
1	401, 402	
2	403, 404	
3	401, 402, 405, 406	2 Modellwiederholungen aus FG1
4 Hauptanalyse	403, 404	
4 Nebenanalyse	403, 404, 409, 410	2 Modellwiederholungen aus FG2

Mit dem Ziel der Reduktion auf wenige, möglichst ähnliche und möglichst geeignete finale Referenzdosismodelle, wurden die AIC-Werte der Kombinationsdosismodelle pro Fallgruppe verglichen, d. h., ein Vergleich der 300er bzw. der 400er Modelle untereinander durchgeführt. Tabelle 5.1.3-14 zeigt die Ergebnisse des Modellrankings der Kombinationsmodelle für die vier Fallgruppen.

Tabelle 5.1.3-14: Modellranking der Kombinationsmodelle

Fallgruppe 1 (Männer mit Prolaps):

Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC
i_d_301k1	4	1	940,5174	0
i_d_301k1	2	2	944,3469	3,829529
i_d_302k1	4	3	948,4215	7,904114
i_d_302k1	2	4	954,2125	13,69507
Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC
i_d_401k1	4	1	942,1594	0
i_d_401k1	2	2	944,5804	2,421021
i_d_402k1	4	3	949,2601	7,100769
i_d_402k1	2	4	955,4057	13,24634

Fallgruppe 2 (Frauen mit Prolaps):

Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC
i_d_303k1	4	1	943,1512	0
i_d_303k1	2	3	946,1966	3,04541
i_d_304k1	4	2	945,9794	2,828186
i_d_304k1	2	4	947,7548	4,603638
Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC
i_d_403k1	4	1	944,289	0
i_d_403k1	2	3	948,0168	3,727844
i_d_404k1	4	2	946,3109	2,021851
i_d_404k1	2	4	948,0479	3,75885

Fallgruppe 3 (Männer mit Chondrose):

Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC
i_d_301k1	4	6	623,1538	2,402466
i_d_301k1	2	2	620,7806	0,0292969
i_d_302k1	4	8	624,4918	3,740479
i_d_302k1	2	4	622,0204	1,269043
i_d_305k1	4	7	623,9481	3,196716
i_d_305k1	2	3	621,0183	0,2669678
i_d_306k1	4	5	622,6391	1,887756
i_d_306k1	2	1	620,7513	0
Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC
i_d_401k1	4	2	620,6723	0,133606
i_d_401k1	2	1	620,5387	0
i_d_402k1	4	7	624,4064	3,867676
i_d_402k1	2	5	622,5396	2,000916
i_d_405k1	4	8	625,3733	4,834595
i_d_405k1	2	6	622,5995	2,060791
i_d_406k1	4	4	622,52	1,981323
i_d_406k1	2	3	622,0641	1,525452

Fortsetzung Tabelle 5.1.3-14: Modellranking der Kombinationsmodelle

Fallgruppe 4 (Frauen mit Chondrose): Hauptanalyse

Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC
i_d_303k1	4	2	717,9452	2,737427
i_d_303k1	2	1	715,2078	0
i_d_304k1	4	4	719,822	4,614258
i_d_304k1	2	3	719,7506	4,542847
Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC
i_d_403k1	4	2	716,4438	2,434631
i_d_403k1	2	1	714,0092	0
i_d_404k1	4	3	718,2086	4,199463
i_d_404k1	2	4	718,3394	4,330261

Fallgruppe 4 (Frauen mit Chondrose): Nebenanalyse

Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC
i_d_303k1	4	4	717.9452	2.737427
i_d_303k1	2	1	715.2078	0
i_d_304k1	4	8	719.822	4.614258
i_d_304k1	2	7	719.7506	4.542847
i_d_309k1	4	6	718.7482	3.540405
i_d_309k1	2	3	717.8074	2.59967
i_d_310k1	4	5	718.6077	3.399902
i_d_310k1	2	2	717.7191	2.511353
Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC
i_d_403k1	4	4	716.4438	2.434631
i_d_403k1	2	1	714.0092	0
i_d_404k1	4	6	718.2086	4.199463
i_d_404k1	2	7	718.3394	4.330261
i_d_409k1	4	8	718.9647	4.955505
i_d_409k1	2	3	716.0178	2.008667
i_d_410k1	4	2	715.9922	1.983032
i_d_410k1	2	5	717.6115	3.602295

Die Ergebnisse zeigen, dass Kombinationsmodelle mit Rumpfbeugung ab 45° überwiegend besser als Kombinationsmodelle mit Rumpfbeugung ab 75° anpassen:

- Es zeigen sich Vorteile von Rumpfbeugung 45° in FG4, also ist der erwartete Vorteil von 75° nicht zu erkennen;
- Klare Vorteile von 45° zeigen sich auch in FG1
- Indifferenz bezüglich des zu bevorzugenden Rumpfbeugewinkels besteht bei FG2 und FG3 (geringe AIC-Differenzen)

Die Kombinationsmodelle 301 und 303 bzw. 401 und 403 mit niedrigerer Druckkraftschwelle sind zudem überwiegend besser als die Alternativen 305 und 309 bzw. 405 und 409. Hinsichtlich der Druckkraftschwelle für manuelle Lastenhandhabungen weisen folgende Modelle eine AIC-Differenz von maximal 2 zum AIC-Minimum auf:

- Fallgruppe 1: Modelle 301 und 401 (Druckkraftschwelle $3\frac{1}{4}$ kN);
- Fallgruppe 2: Modelle 303, 403 und 404 (Druckkraftschwelle $2\frac{1}{2}$ kN);
- Fallgruppe 3: Modelle 305, 405, 306, 406 (Druckkraftschwelle 4,0 kN) sowie 301, 401, 302, 402 und 305 (Druckkraftschwelle $3\frac{1}{4}$ kN);
- Fallgruppe 4, Hauptanalyse: Modelle 303 und 403 (Druckkraftschwelle $2\frac{1}{2}$ kN);
- Fallgruppe 4, Nebenanalyse: Modelle 303 und 403 (Druckkraftschwelle $2\frac{1}{2}$ kN) sowie 409 und 410 (Druckkraftschwelle $2\frac{3}{4}$ kN).

Eine mögliche (mathematische) Erklärung dafür könnte in der unabhängigen Kombination der ermittelten Schwellen aus den Einzelmodellen (AIC-Randminima), die nicht notwendig zu besten Modellen (zum globalen AIC-Minimum) führen muss, wenn tatsächlich Abhängigkeiten existieren, gesehen werden. Folgende Eigenschaften der fraktionalen Polynome weisen AIC-Differenzen von maximal 2 zum AIC-Minimum auf:

- Fallgruppe 1: FP 4;
- Fallgruppe 2: FP4;
- Fallgruppe 3: FP2 und FP4;
- Fallgruppe 4: Hauptanalyse: FP2; Nebenanalyse: FP2 und FP4.

Eine vergleichende wertende Darstellung der fraktionalen Polynome zweiten und vierten Grades war im Rahmen der DWS-Richtwertestudie nicht zu leisten; hier wird seitens des Forschungsverbundes eine weitere Diskussion für wünschenswert gehalten.

5.1.3.4.1 Zusammenfassende Darstellung der in der DWS-Richtwertestudie eingesetzten Dosismodelle

Bevor im Kapitel 5.1.4 die Ableitung der Verdopplungsdosis-Werte aufbauend auf den Referenzmodellen (und unter Einbezug der Informationen aller Bestmodelle) dargestellt wird, soll an dieser Stelle eine Zusammenfassung aller Dosismodelle der DWS-Richtwertestudie erfolgen. Ausgehend von den 10 Dosismodellen, die innerhalb der Deutschen Wirbelsäulenstudie zur Beschreibung der kumulativen Wirbelsäulenbelastung von typischen

Schichten genutzt wurden und bei denen die Kriterien, ob eine Arbeitssituation bzw. ein Be-
lastungsvorgang als relevant eingeschätzt wurde und daher bei der Dosiskumulation
einbezogen wurde, zum Teil in Kombination verändert wurden, basiert die DWS-
Richtwertestudie im ersten Ansatz auf 18 Tagesdosis-Modellen. Zur Unterscheidung dieser
Modelle von denen der DWS1 wurden sie mit einer 100er Ordnungsnummer versehen
(„100er Modelle“). Dieses erste Modellspektrum geht von einem Grundmodell aus –
letztendlich wurde das Modell Nr. 5 der DWS1 gewählt –, und in der Folge wurden die
Eigenschaften, d. h. vor allem die Schwellenwerte zur Tagesdosis, Bandscheiben-Druckkraft,
Rumpfvorneigung sowie der optionalen Berücksichtigung von Lastenhandhabungen
zusätzlich zum Heben oder Tragen (z. B. Ziehen und Schieben), separat und nacheinander
variiert; korrespondierend zu diesen vier Kriterien entspricht dies vier Modellgruppen. In
Ergänzung dazu wurde auch ein Modell geprüft, das die Angaben des Bundessozialgerichts
in einem konkreten Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren aufgreift („BSG-Modell“);
zusammen mit dem Grundmodell repräsentiert dies die 5. Modellgruppe.

In einer ersten Erweiterung des Modellspektrums wurden zwei weitere Modelle mit relativ
geringer Tagesdosisschwelle sowie zehn Modelle mit vergleichsweise hohen
Druckkraftschwellen eingeführt, um weitere gut anpassende Dosismodelle identifizieren zu
können („Best-Modelle“ innerhalb der 95 %-Konfidenzmenge); zur Unterscheidung dieser
neuen Modelle wurden sie mit einer 200er Ordnungsnummer versehen (1. Erweiterung
„200er Modelle“). Durch Anwendung des Multi-Modell-Ansatzes wurden auf Basis der Best-
Modelle für die Modellgruppen 1 bis 3 die Schwellenwerte zur Tagesdosis, Druckkraft und
Rumpfvorneigung gemittelt – gewichtet entsprechend der durch den AIC beschriebenen
Anpassungsgüte – und daraus wie a priori festgelegt „Kombinationsmodelle“ für die vier
Fallgruppen generiert (2. Erweiterung: „300er Modelle“).

Im Gegensatz zu allen vorigen Modellen, bei denen die Druckkraft jeweils
vorgangs„spezifisch“ mit dem Werkzeug „Der Dortmunder“ bestimmt wurde, wurden gemäß
Auswertungsplan korrespondierende Modelle definiert, bei denen die Druckkraft-Schätzung
auf Basis von vorgangs„klassierenden“ Bestimmungsgleichungen beruht (s. Kap. 5.2). Diese
Modelle weisen identische Eigenschaften wie die 300er Modelle auf und unterscheiden sich
lediglich in der Art der Druckkraft-Bestimmung (3. Erweiterung: „400er Modelle“). Aufgrund
der dritten Sensitivitätsanalyse zur Identifikation biologisch unplausibler Modelle (trotz hoher
Anpassungsgüte) ergaben sich für Fallgruppe 4 je zwei weitere Dosismodelle der 300er und
400er Serien (4. Erweiterung); die Hauptanalyse (HA) basiert auf dem eingeschränkten
Spektrum, die Nebenanalyse (NA) auf allen Modellen innerhalb der 95 %-Konfidenzmenge.

Letztendlich wurden in einer 5. Überarbeitung je zwei Modelle der 300er und 400er Serien ausgesondert und für die weiteren Prüfungen der Anpassungsgüte sowie der nachfolgenden Multi-Modell-Analysen nicht weiter berücksichtigt, da sich die entsprechenden Schwellenwerte bei den Fallgruppen 2 und 4 als gleich ergaben. Die folgende Übersicht verdeutlicht die Entwicklung des Modellspektrums von 18 auf abschließend 46 Tagesdosis-Modelle (Tabelle 5.1.3-15).

Tabelle 5.1.3-15: Entwicklung der Anzahlen der Tages- und somit Lebensdosismodelle zur Ableitung der Verdopplungsdosen

	Bezeichnung	Entwicklungs- zeitraum	Neu hinzu gekommen	Gesamtanzahl der Modelle
Erstversion	100er Dosismodelle	Mitte 2010		N = 18
1. Erweiterung	200er Dosismodelle	Frühjahr 2011	n = 12	N = 30
2. Erweiterung	300er Dosismodelle	Mitte 2011	n = 8	N = 38
3. Erweiterung	400er Dosismodelle	Herbst 2011	n = 8	N = 46
4. Erweiterung	Ergänzung für Nebenanalyse: 309/310 + 409/410	Anfang 2012	n = 4	N = 50
5. Überarbeitung	Aussonderung für Hauptanalyse: 307/308 + 407/408	Frühjahr 2012	n = -4	N = 46

5.1.4 Ableitung eines Vorschlags zur Bestimmung des Lebensdosis-Richtwertes und weiterer Richtwerte (Druckkraft, Rumpfvorneigung, Tagesdosis)

5.1.4.1 „Zweiter“ Multi-Modell-Ansatz

Als „finale Referenzdosismodelle“ haben sich für die beiden Fallgruppen der Männer (FG1 und FG3) die Kombinationsmodelle 301 bzw. 401 ergeben (vgl. Kapitel 5.1.3.4). Diese sind gekennzeichnet durch: Tagesdosissschwelle 2,0 kNh, Druckkraftschwelle $3\frac{1}{4}$ kN, Rumpfbeuge-Schwelle 45°, Einbezug von Tätigkeiten wie Ziehen oder Schieben von Lasten

usw. zusätzlich zum Heben oder Tragen. Für die Fallgruppen der Frauen (FG2 und FG4) resultieren die Kombinationsmodelle 303 bzw. 403 als finale Referenzdosen: Tagesdosissschwelle 0,5 kNh, Druckkraftschwelle $2\frac{1}{2}$ kN, Rumpfbeuge-Schwelle 45° , Einbezug von Tätigkeiten wie Ziehen oder Schieben von Lasten usw. zusätzlich zum Heben oder Tragen.

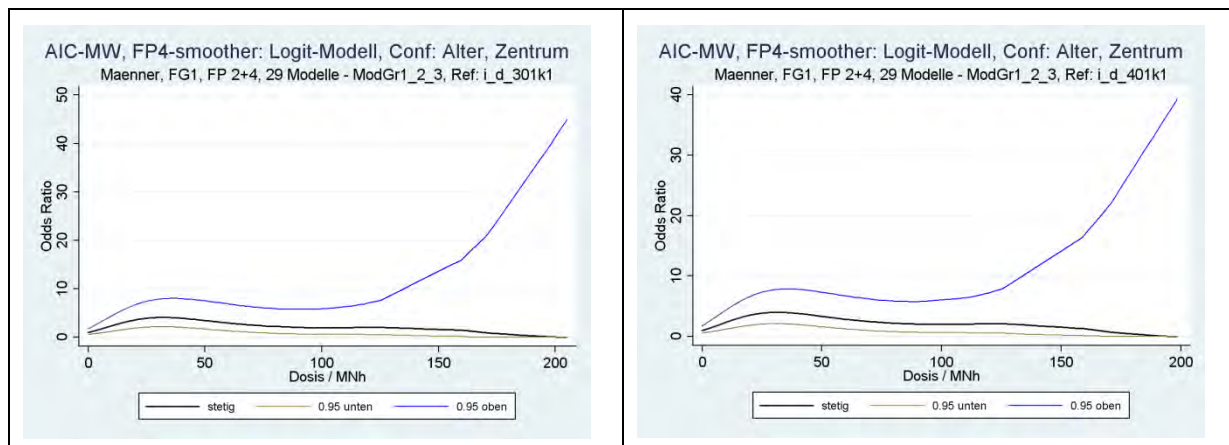
Damit werden die finalen Referenzdosis-Odds Ratio (OR)-Kurven als geglättete mittlere Kurven aus der Multi-Modell-Auswertung zu jeder Fallgruppe über den finalen Referenzdosen abgeleitet. FP2- und FP4-Informationen werden berücksichtigt, alle Informationen der Einzelmodelle gehen ein; es zeigen sich keine auffälligen Abweichungen zwischen den gemittelten Kurvenformen und den Kurven der bevorzugten Kombinationsmodelle.

Abbildung 5.1.4-1 zeigt für die Fallgruppe 1 (Haupt- = Nebenanalyse) zunächst für das Referenzmodell 301 die unter Verwendung von fraktionalen Polynomen 4. Grades geglättete und AIC-gewichtete mittlere Dosis-OR-Kurve (Punkt- und Intervallschätzer) aus den eingehenden 29 Einzelmodellen für den gesamten Dosisbereich (Teilabbildung a) sowie ausschnittsweise für die Dosisbereiche $< 10^8$ Nh und 10^7 Nh (Teilabbildungen b und c). Abbildung 5.1.4-2 a-c liefert die gleiche Darstellung bezüglich des Referenzdosismodells 401.

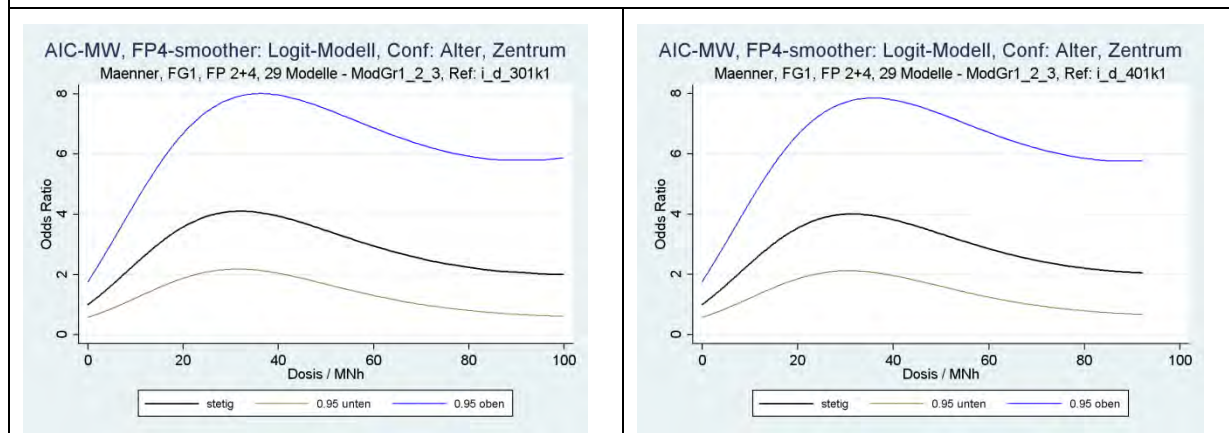
Die weiteren Abbildungen 5.1.4-3 bzw. 5.1.4-4 sowie 5.1.4-5 bzw. 5.1.4-6 fassen die Ergebnisse analog für die Fallgruppen 2 und 3, bei denen ebenfalls die Haupt- und die Nebenanalyse identisch sind, zusammen.

In den Abbildungen 5.1.4-7 bzw. 5.1.4-8 sowie 5.1.4-9 und 5.1.4-10 sind die Referenzdosis-Odds Ratio (OR)-Kurven für die voneinander abweichende Haupt- und Nebenanalyse bei der Fallgruppe 4 (Frauen mit Chondrose) dargestellt.

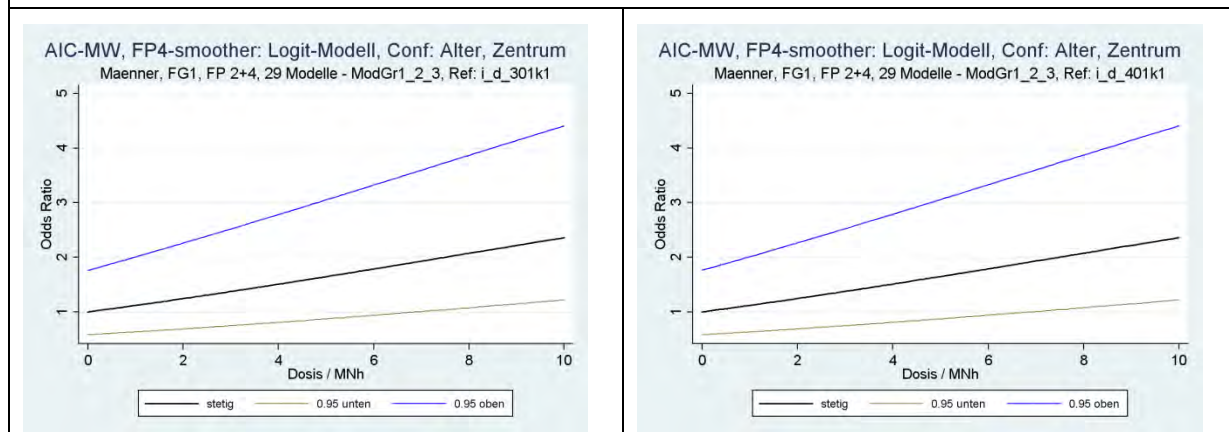
Eine analoge Analyse mit log-linearen Modellen ergab einen signifikanten Aufwärtstrend der Odds Ratios für alle vier Fallgruppen mit der Lebensdosis.



a: Gesamter Dosisbereich



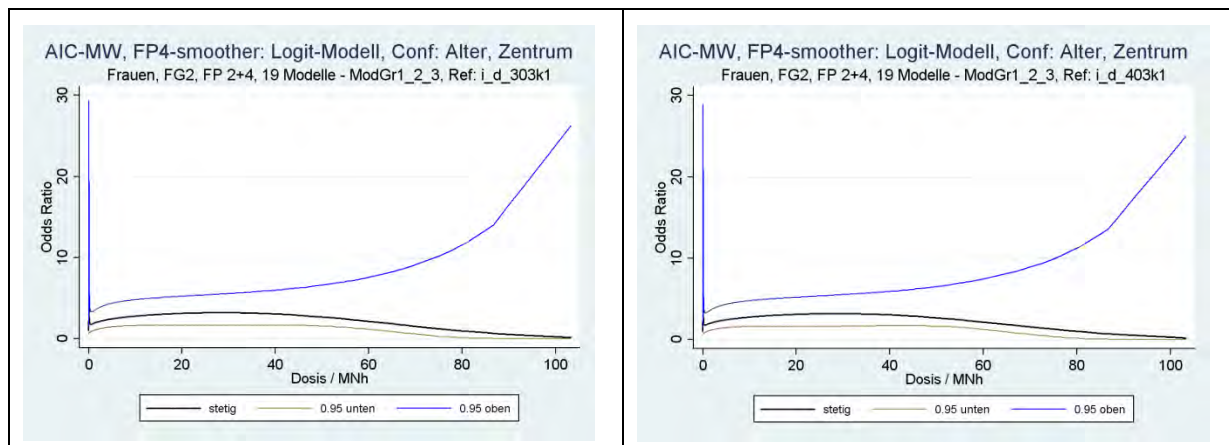
b: Dosisbereich $< 10^8$ Nh



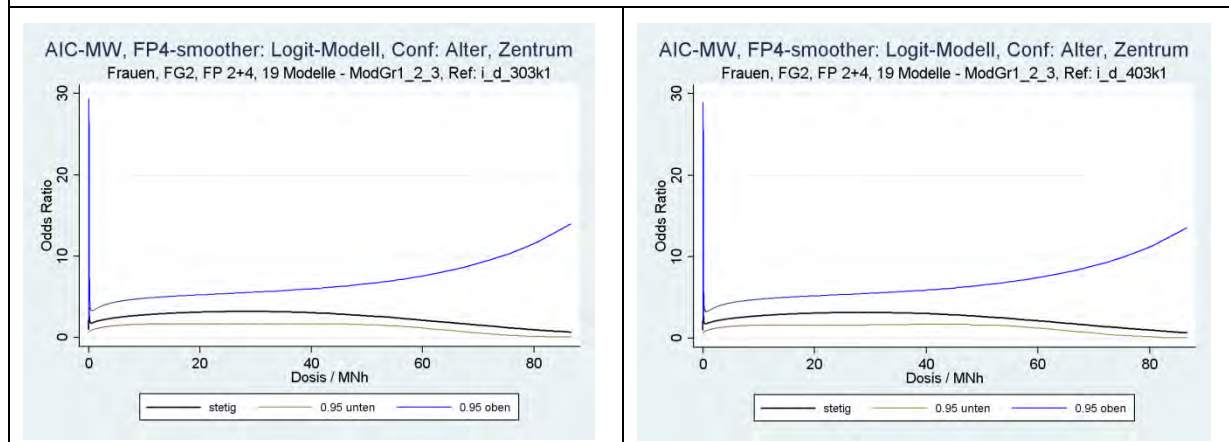
c: Dosisbereich $< 10^7$ Nh

Abbildung 5.1.4-1: Fallgruppe 1 (HA = NA):
Schätzung der Odds Ratios:
Modellmittelung der 29
Einzelmodelle zur Referenzdosis
301

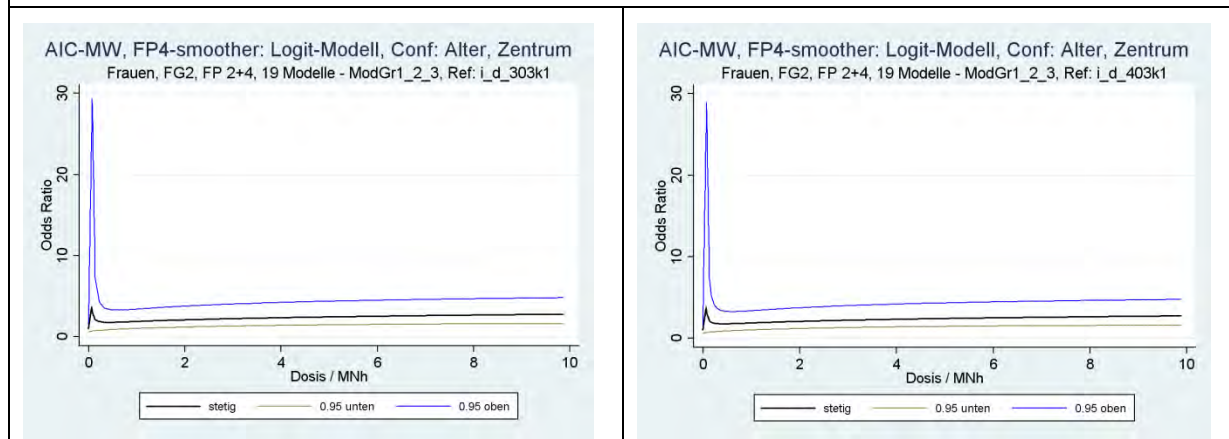
Abbildung 5.1.4-2: Fallgruppe 1 (HA = NA):
Schätzung der Odds Ratios:
Modellmittelung der 29
Einzelmodelle zur Referenzdosis
401



a: Gesamter Dosisbereich



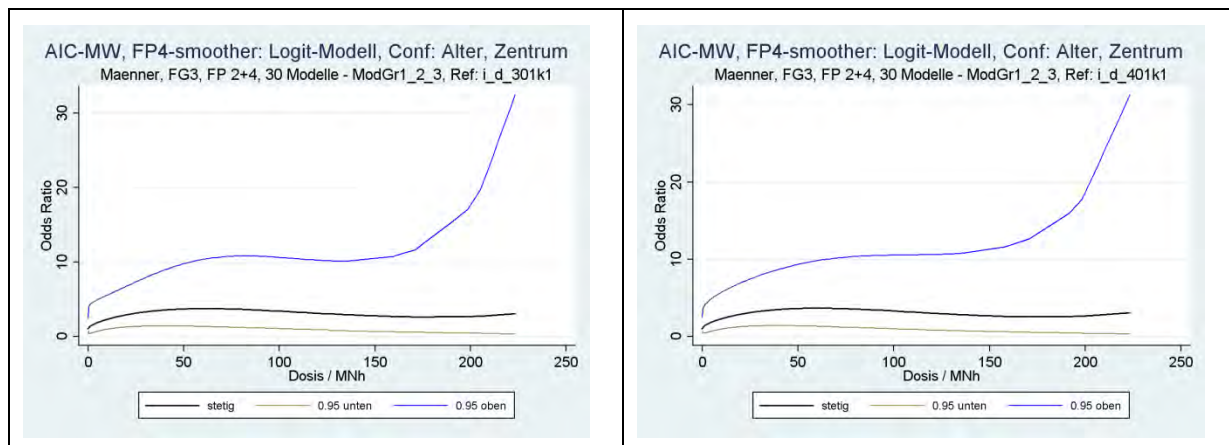
b: Dosisbereich < 10^8 Nh



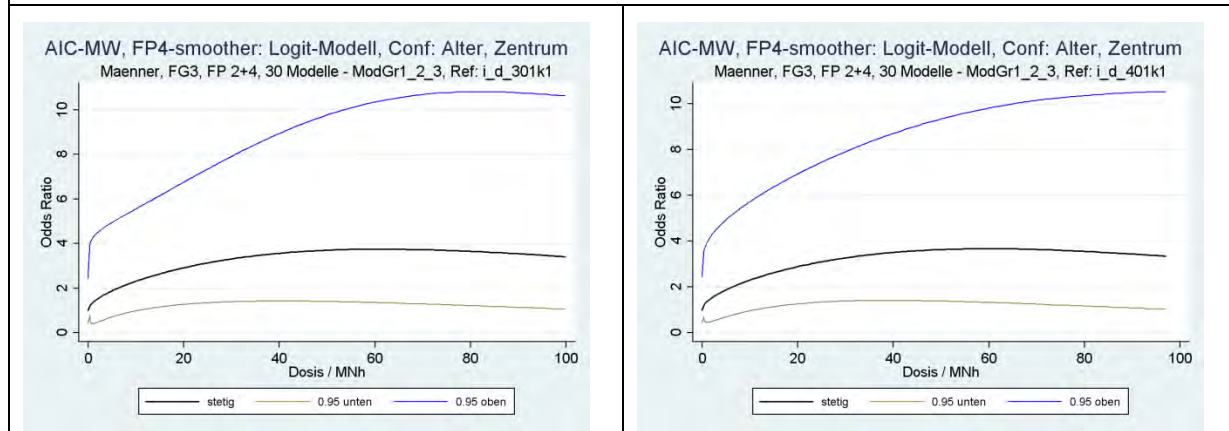
c: Dosisbereich < 10^7 Nh

Abbildung 5.1.4-3: Fallgruppe 2 (HA = NA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 19 Einzelmodelle zur Referenzdosis 303

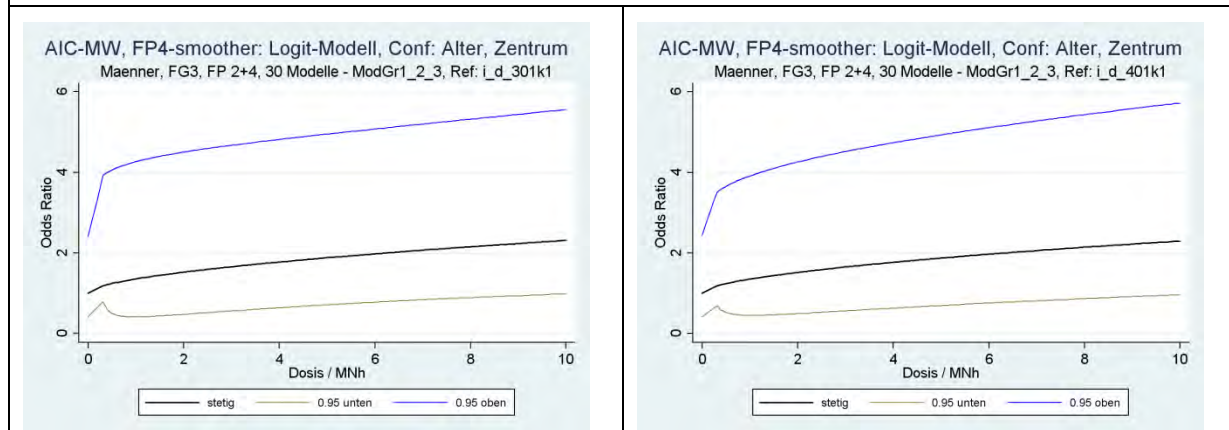
Abbildung 5.1.4-4: Fallgruppe 2 (HA = NA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 19 Einzelmodelle zur Referenzdosis 403



a: Gesamter Dosisbereich



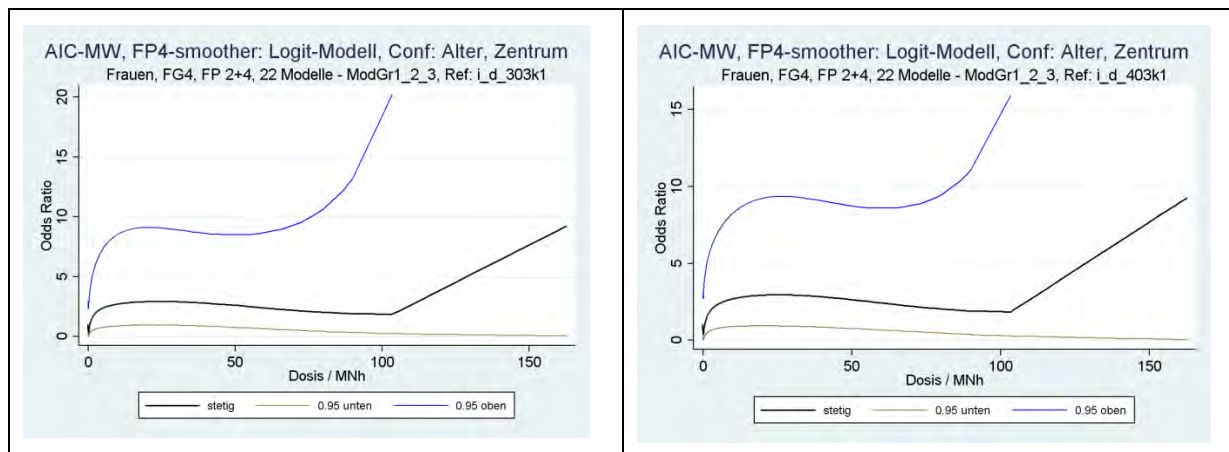
b: Dosisbereich $< 10^8$ Nh



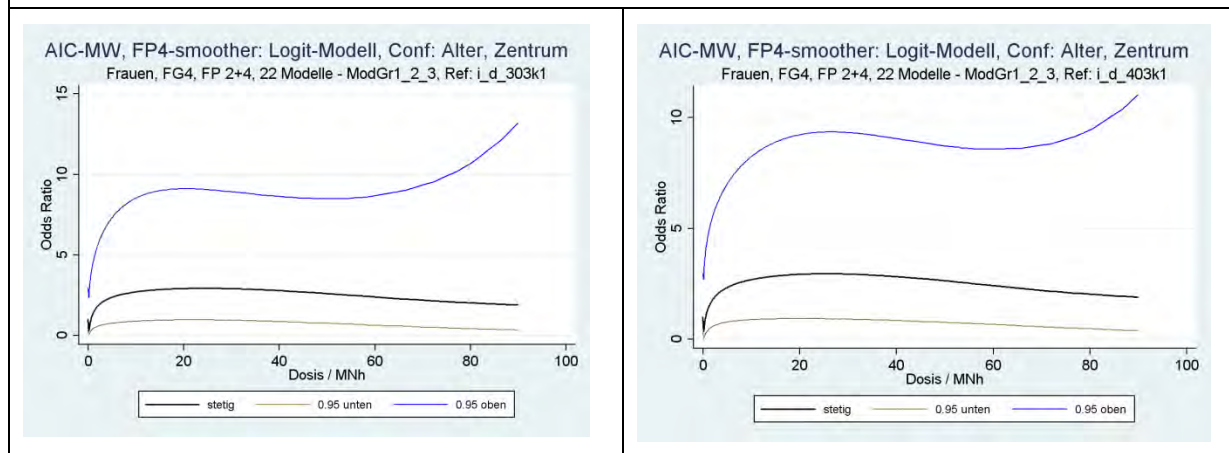
c: Dosisbereich $< 10^7$ Nh

Abbildung 5.1.4-5: Fallgruppe 3 (HA = NA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 30 Einzelmodelle zur Referenzdosis 301

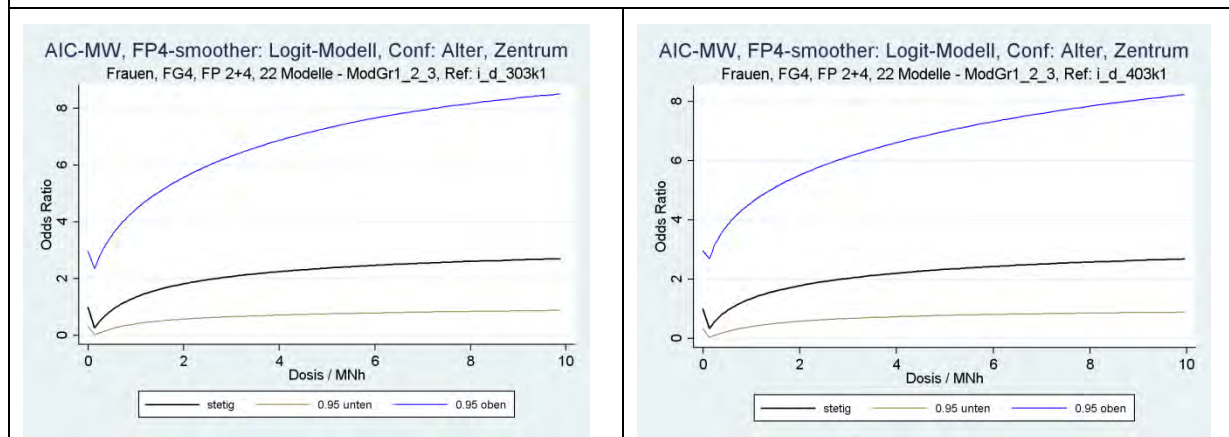
Abbildung 5.1.4-6: Fallgruppe 3 (HA = NA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 30 Einzelmodelle zur Referenzdosis 401



a: Gesamter Dosisbereich



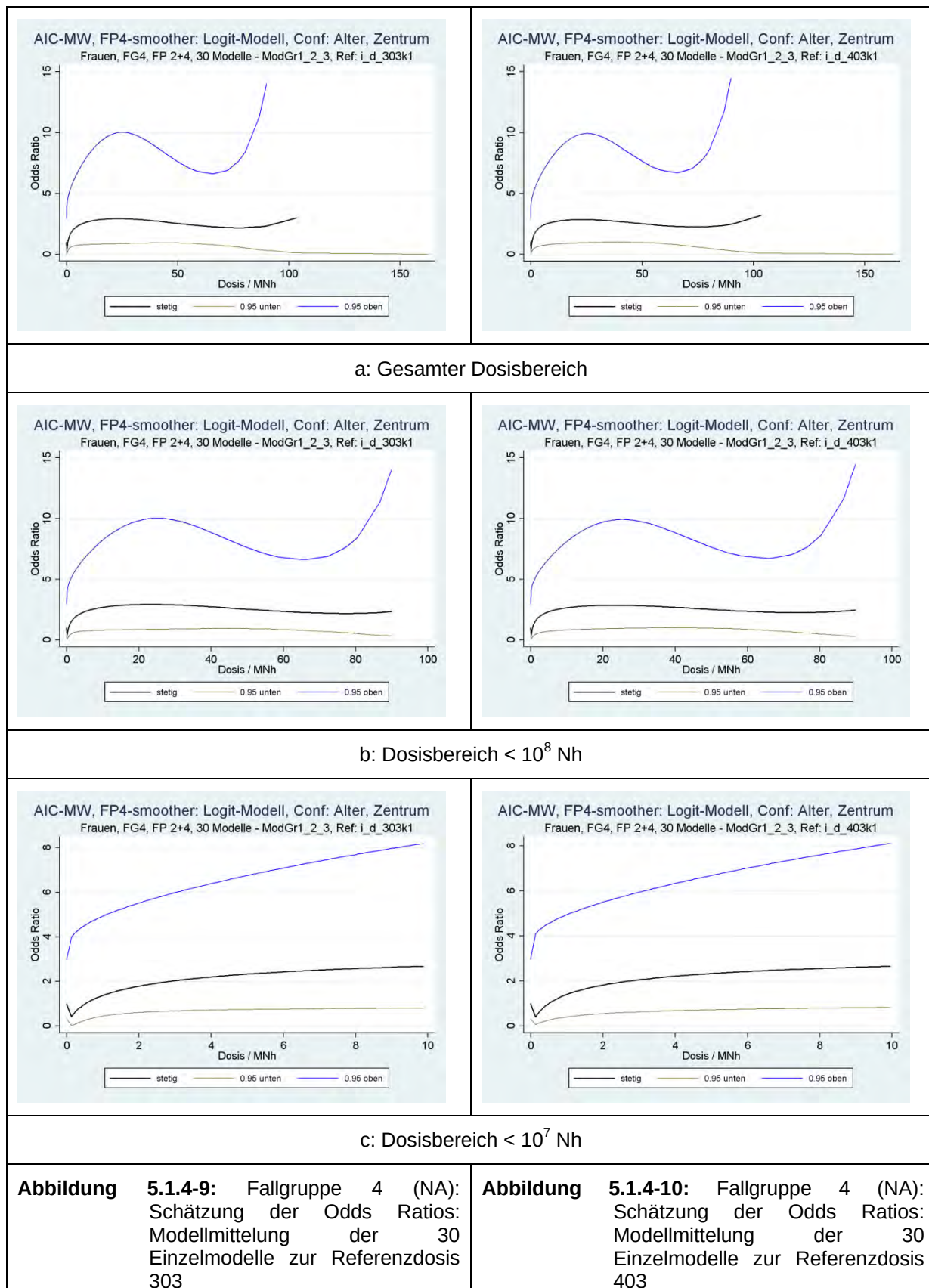
b: Dosisbereich $< 10^8$ Nh



c: Dosisbereich $< 10^7$ Nh

Abbildung 5.1.4-7: Fallgruppe 4 (HA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 22 Einzelmodelle zur Referenzdosis 303

Abbildung 5.1.4-8: Fallgruppe 4 (HA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 22 Einzelmodelle zur Referenzdosis 403



5.1.4.2 Ableitung von Verdopplungsdosen

In der Studie sind Kurven zum Verlauf von Odds Ratios über der finalen Referenzdosis ermittelt worden. Mit dem Ziel, Lebensdosiswerte festzustellen, die zu einer Risikoverdopplung führen, geht es aber darum, relative Risiken (RR) zu bestimmen. Die Begriffe Odds Ratio und relatives Risiko sind nicht identisch, es besteht eine Abhängigkeit von der Prävalenz der betrachteten Erkrankungsbilder (vgl. Kapitel 4.1.4.2). Ohne verlässliches Wissen zur Basisprävalenz der Zielerkrankungen in der DWS wäre eine Spannbreite dieser Basisprävalenz zu berücksichtigen gewesen. Die in Kapitel 4.1.4.2 beschriebenen mit drei unterschiedlichen Ansätzen (DWS-interne Erhebungsinzidenz, DRG-Angaben und Auswertung bevölkerungsbezogener Erhebungen) gefundenen Schätzwerte von 0 – 2 % für die zu erwartende Prävalenz von Chondrose und Prolaps mit Radikulärsyndrom in der Allgemeinbevölkerung gestatten eine direkte Interpretation der Odds Ratios als Schätzwerte der relativen Erkrankungsrisiken. Damit ist das Kriterium der Risikoverdopplung als erfüllt anzusehen, wenn ein Odds Ratio $OR = 2$ vorliegt. Hierfür sind alle Schnittpunkte der Geraden $OR = 2$ mit der finalen Kurve aus der Multi-Modell-Analyse (vgl. Abbildungen 5.1.4-1 bis 5.4.1-10, jeweils Teil a) zu ermitteln. Um irreguläre Kurvenverläufe („Nadeln“) im Niedrigdosisbereich von der Analyse auszuschließen, wird diese Suche erst ab einer Minstdosis von 0,5 MNh gestartet. Das Verdopplungskriterium gilt als erfüllt, sobald der erste Schnittpunkt von Gerade und Kurve erreicht worden ist.

Das gleiche Vorgehen wird auf die ermittelten Konfidenzbereiche der Referenzdosis-OR-Kurven angewendet (Ermittlung von Schnittpunkten der Parallelen $OR = 2$ mit den Konfidenzkurven). Dies führt zur Berechnung von Konfidenzbereichen der gefundenen Punktschätzer für die geschätzte Lebensdosis, die mit einer Verdopplung des Erkrankungsrisikos assoziiert ist.

Für die Fallgruppen 1, 2 und 3 fallen Haupt- und Nebenanalyse zusammen. Die beiden Fallgruppen der Männer (FG1 und 3) verwenden Modell 301 („Dortmunder“) bzw. 401 („Bestimmungsgleichungen“) als Referenzdosismodelle. Für die Fallgruppen der Frauen (FG2 und 4) sind dies die Modelle 303 („Dortmunder“) bzw. 403 („Bestimmungsgleichungen“) sowohl bei der Haupt- als auch bei der Nebenanalyse.

Tabelle 5.1.4-1 zeigt die Resultate der Schätzung der Verdopplungsdosen für die vier Fallgruppen (Haupt- und Nebenanalyse) für Basisprävalenzen von 0 bzw. 5 % (um die ermittelten Prävalenzschätzungen, die laut Recherche mit 0 - 2 % Basisprävalenz über 0, aber unter 5 % liegen, zu berücksichtigen). Damit wird zugleich eine Abschätzung der Verdopplungsdosen nach oben angegeben. Die Tabelle enthält zudem die gefundenen Untergrenzen von Konfidenzintervallen zu den berechneten Punktschätzern. Diese liegen –

Fallgruppe 1 ausgenommen – unterhalb der für die Suche nach Verdopplungsdosen gewählten Anfangslebensdosis von 0,5 MNh. Die entsprechenden oberen Grenzen liegen stets über 20,0 MNh, für die Fallgruppen 2, 3 und 4 sogar über den maximalen Lebensdosiswerten der jeweiligen Gruppe. Die Ermittlung des zum jeweiligen Punktschätzer gehörigen 95 %-Konfidenzintervalls wird in der Abbildung 14-2 im Anhang beispielhaft illustriert.

Tabelle 5.1.4-1: Verdopplungsdosen in MNh (in Klammern: Grenzen des 95 %-Konfidenzintervalls, soweit bestimmbar)

Basisprävalenz	FG1 (HA=NA)	FG2 (HA=NA)	FG3 (HA=NA)	FG4 (HA)	FG4 (NA)
0	7 (1 - 23)	2 (< 0,5 - > 100)	6 (< 0,5 - > 100)	3 (< 0,5 - > 100)	3 (< 0,5 - > 100)
5 %	8 (1,4 - 28)	2 (< 0,5 - > 100)	8 (< 0,5 - > 100)	3 (< 0,5 - > 100)	3 (< 0,5 - > 100)

Aus den mit „Dortmunder“ oder „Bestimmungsgleichungen“ erhaltenen Referenzdosis-OR-Kurven ermittelte Schätzer der Verdopplungsdosen unterscheiden sich dabei nicht relevant voneinander. Tabelle 5.1.4-1 lässt eine Ableitung eines Verdopplungsrisikos oberhalb einer Lebensdosis von 3 MNh bei Frauen bzw. von 7 MNh bei Männern zu. Hinzuwiesen ist auf die sehr weiten Konfidenzintervalle und die damit verbundenen Unsicherheiten bei der Ableitung der abgeschätzten Verdopplungsdosis-Werte.

5.2 Projektteil II

5.2.1 Entwicklung von Bestimmungsgleichungen

Zur Abschätzung individueller Druckkraftwerte wurde gemäß der in Kapitel 4.2.1.3 beschriebenen Vorgehensweise Bestimmungsgleichungen für die Lastenhandhabungen Heben/Absenken/Umsetzen, Halten und Tragen abgeleitet. Der endgültige Formelsatz umfasst insgesamt 11 Bestimmungsgleichungen und vier Faktoren für „einhändiges“, „körperfernes“ und „asymmetrisches“ Heben/Absenken/Umsetzen. Die einzelnen Gleichungen und Faktoren werden im Folgenden beschrieben.

a) Heben/Absenken/Umsetzen von Lasten

Für das beidhändige Heben/Absenken/Umsetzen von Lasten wurden insgesamt sechs Bestimmungsgleichungen abgeleitet, die in Tabelle 5.2.1-1 dargestellt sind.

Tabelle 5.2.1-1: Bestimmungsgleichungen zum beidhändigen Heben/Absenken/Umsetzen von Lasten, Schreibweise analog MDD (Hartung et al. 1999) in der Form $F = b + m \cdot L$ mit F = Bandscheiben-Druckkraft L5/S1 [N], b = Komponente der Oberkörperhaltung, m = Lastgewichtskomponente; L = Masse des Lastobjekts [kg]; „von“ = Rumpfhaltung in Ausgangsposition, „nach“ = Rumpfhaltung in Endposition

Nr.	von	nach	Bestimmungsgleichung
G 1	 aufrecht	 aufrecht	$F = 800 \text{ N} + 45 \text{ N/kg} \cdot L$
G 2	 leicht gebeugt	 aufrecht	$F = 1.100 \text{ N} + 80 \text{ N/kg} \cdot L$
G 3	 stark gebeugt	 aufrecht	$F = 1.900 \text{ N} + 70 \text{ N/kg} \cdot L$
G 4	 leicht gebeugt	 leicht gebeugt	$F = 1.100 \text{ N} + 75 \text{ N/kg} \cdot L$
G 5	 stark gebeugt	 leicht gebeugt	$F = 1.900 \text{ N} + 65 \text{ N/kg} \cdot L$
G 6	 stark gebeugt	 stark gebeugt	$F = 1.900 \text{ N} + 60 \text{ N/kg} \cdot L$

Beispiel:

Die Bandscheiben-Druckkraft F für das beidhändige, symmetrische und körpernahe Anheben einer 15 kg schweren Last aus einer stark gebeugten Rumpfhaltung heraus in eine aufrechte Position errechnet sich nach Gleichung **G 3** wie folgt:

$$F = 1.900 \text{ N} + 70 \text{ N/kg} \cdot 15 \text{ kg} = 2.950 \text{ N} \quad \rightarrow \quad \boxed{3,0 \text{ kN}}$$

Die dargestellten Gleichungen für Hebe- und Umsetzvorgänge gelten analog für Absenkvorgänge.

Für „einhändig“, „körperfern“ oder „asymmetrisch“ durchgeführte Hebe-/Absenk-/Umsetz-Vorgänge wurden Faktoren ermittelt, die jeweils nur auf die „Lastgewichtskomponente“ (Steigung m) der einzelnen Formeln aus Tabelle 5.2.1-1 angewandt werden. Diese Faktoren sind in Tabelle 5.2.1-2 aufgelistet.

Tabelle 5.2.1-2: Faktoren für einhändig, körperfern oder asymmetrisch durchgeführte Hebe-/Absenk-/Umsetz-Vorgänge

Nr.	Ausführung	Rumpfhaltung	Faktor
F 1	einhändig	alle	1,9
F 2	asymmetrisch	alle	1,9
F 3	körperfern	aufrecht bis leicht gebeugt*	1,3
F 4	körperfern	stark gebeugt**	1,1

* Gilt für alle „von-nach“-Kombinationen, bei denen keine starke Rumpfbeugung vorliegt

** Gilt für alle „von - nach“-Kombinationen, bei denen der Rumpf mindestens in einer Position stark gebeugt ist

Beispiel:

Die Bandscheiben-Druckkraft F für das einhändige Anheben einer 15 kg schweren Last aus einer stark gebeugten Rumpfbeuge heraus in eine aufrechte Position errechnet sich nach Gleichung **G 3** und Faktor **F 1** wie folgt:

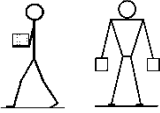
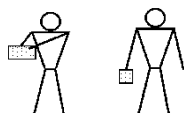
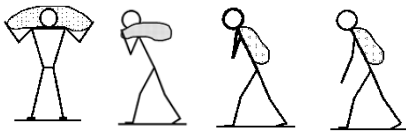
$$F = 1.900 \text{ N} + 1,9 \cdot 70 \text{ N/kg} \cdot 15 \text{ kg} = 3.895 \text{ N} \rightarrow \boxed{3,9 \text{ kN}}$$

Das Verfahren sieht keine Kombinationen von Faktoren vor: Liegen zwei Merkmale gleichzeitig vor (z. B. einhändige und körperferne Handhabung), ist der höherwertige Faktor einzusetzen.

b) Tragen von Lasten

Für die unterschiedlichen Arten des Tragens von Lasten wurden insgesamt drei Bestimmungsgleichungen abgeleitet, die in Tabelle 5.2.1-3 dargestellt sind.

Tabelle 5.2.1-3: Bestimmungsgleichungen zum Tragen von Lasten; Schreibweise analog MDD (Hartung et al. 1999) in der Form $F = b + m \cdot L$ mit F = Bandscheiben-Druckkraft L5/S1 [N], b = Komponente der Oberkörperhaltung, m = Lastgewichtskomponente; L = Masse des Lastobjekts [kg]

Nr.	Ausführung	Bestimmungsgleichung
G 7	 vor dem Körper oder beidseits des Körpers	$F = 800 \text{ N} + 95 \text{ N/kg} \cdot L$
G 8	 auf einer Seite oder einhändig	$F = 800 \text{ N} + 180 \text{ N/kg} \cdot L$
G 9	 auf Schulter(n) oder Rücken	$F = 1.100 \text{ N} + 60 \text{ N/kg} \cdot L$

Beispiel:

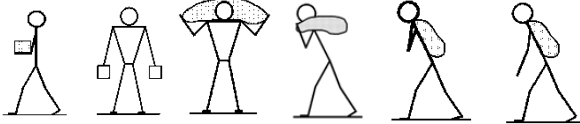
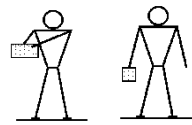
Die Bandscheiben-Druckkraft F für das Tragen einer 40 kg schweren Last auf der Schulter errechnet sich nach Gleichung G 9 wie folgt:

$$F = 1.100 \text{ N} + 60 \text{ N/kg} \cdot 40 \text{ kg} = 3.500 \text{ N} \quad \rightarrow \quad \boxed{3,5 \text{ kN}}$$

c) Halten von Lasten

Für die verschiedenen Ausführungsmöglichkeiten des Haltens von Lasten wurden insgesamt zwei Bestimmungsgleichungen anhand der Expositionsdaten abgeleitet (Tabelle 5.2.1-4).

Tabelle 5.2.1-4: Bestimmungsgleichungen zum Halten von Lasten; Schreibweise analog MDD (Hartung et al. 1999) in der Form $F = b + m \cdot L$ mit F = Bandscheiben-Druckkraft L5/S1 [N], b = Komponente der Oberkörperhaltung, m = Lastgewichtskomponente; L = Masse des Lastobjekts [kg]

Nr.	Ausführung	Bestimmungsgleichung
G 10	 vor dem Körper, beidseits des Körpers oder auf Schulter(n) bzw. Rücken	$F = 800 \text{ N} + 45 \text{ N/kg} \cdot L$
G 11	 auf einer Seite oder einhändig	$F = 800 \text{ N} + 85 \text{ N/kg} \cdot L$

Beispiel:

Die Bandscheiben-Druckkraft F für das Halten einer 40 kg schweren Last vor dem Körper errechnet sich nach Gleichung **G 10** wie folgt:

$$F = 800 \text{ N} + 45 \text{ N/kg} \cdot 40 \text{ kg} = 2.600 \text{ N} \rightarrow \boxed{2,6 \text{ kN}}$$

5.2.2 Validierung der auf der Grundlage von Bestimmungsgleichungen ermittelten Expositionswerte

Die Validierung der schrittweise entwickelten Formelsätze bis hin zu den finalen „Bestimmungsgleichungen“ erfolgte jeweils anhand des DWS1-Dosismodells DM 5 („Grundmodell“). Es wurden für insgesamt 4.450 Schichten die mittels Bestimmungsgleichungen berechneten Tagesdosen (TD_{Formel}) mit den aus den biomechanischen Modellrechnungen berechneten Tagesdosen (TD_{Modell}) verglichen. Die entsprechenden Auswertungen sind getrennt für den „Basisformelsatz“ (45 Basisformeln bzw. 124 Gleichungen (TD_{Formel_45}), siehe Kapitel 4.2.1.3.3, den „reduzierten Formelsatz“ (22 Bestimmungsgleichungen) und den „finalen Formelsatz“ (11 Bestimmungsgleichungen und vier Faktoren (TD_{Formel_11}), siehe Kapitel 5.2.1) dargestellt.

5.2.2.1 Basisformelsatz (Formel_45)

Der Vergleich der Datensätze (TD_{Modell}) und ($TD_{\text{Formel_45}}$) ergab eine große Übereinstimmung (Übereinstimmungsmaß $R^2 = 0,9409$, Intra-Class-Correlationcoefficient $ICC = 0,970$). Abbildung 5.2.2-1 zeigt die entsprechende Regressionsgerade.

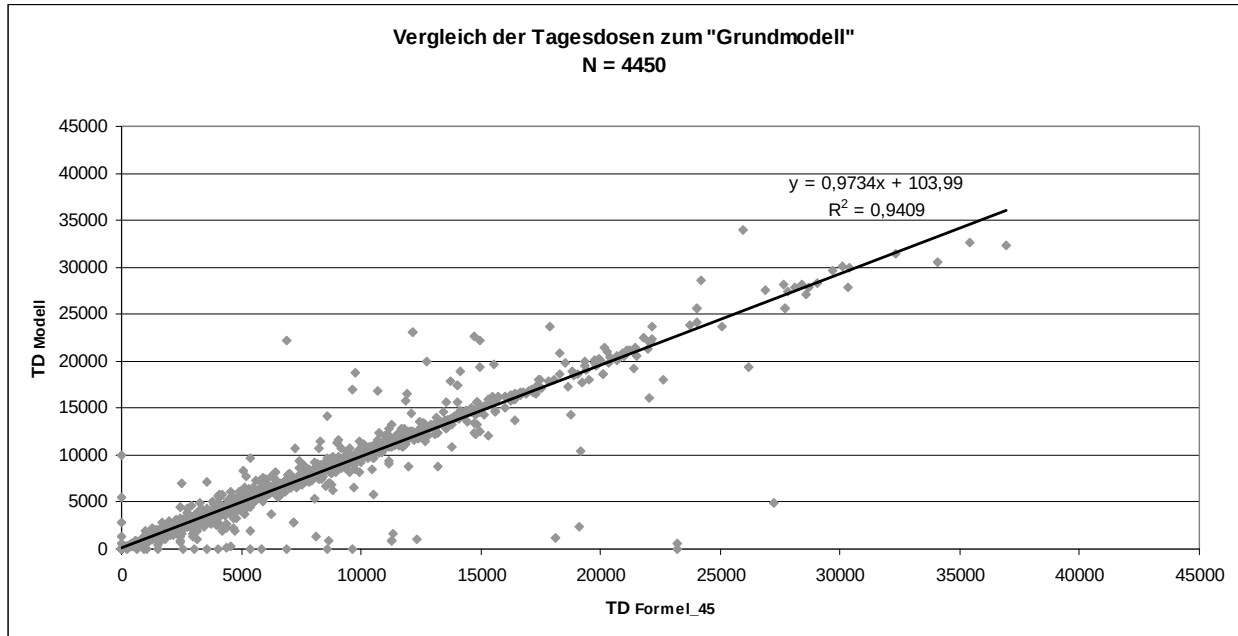


Abbildung 5.2.2-1: Lineare Regression und Bestimmtheitsmaß für den Vergleich der Datensätze (TD_{Modell}) und ($TD_{\text{Formel_45}}$); Dosisangaben in Nh

Bei Betrachtung der prozentualen Abweichungen zwischen beiden Verfahren wird ersichtlich, dass ca. 91 % der Daten (4.061 Wertepaare) in einem Bereich von ± 10 % Abweichung vom „Modellwert“ liegen (Abbildung 5.2.2.-2).

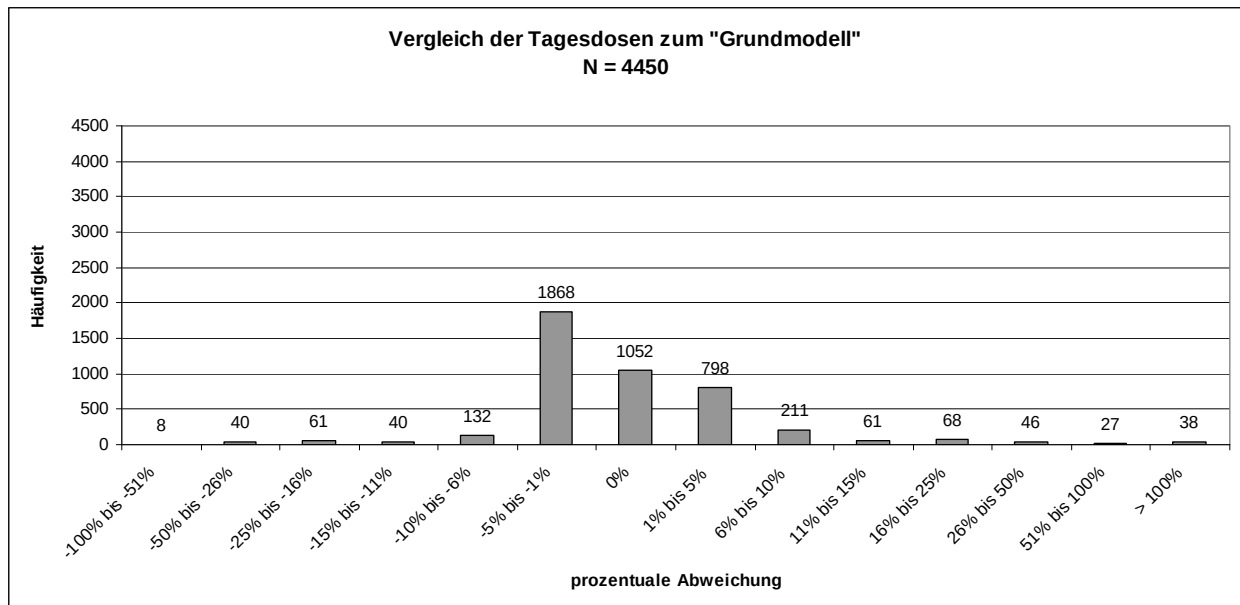


Abbildung 5.2.2-2: Prozentuale Abweichungen der Wertepaare aus dem Vergleich der Datensätze (TD_{Modell}) und (TD_{Formel_45})

Das entsprechende Bland-Altman-Diagramm verdeutlicht, dass die Güte der Übereinstimmung nicht unbedingt vom Wertebereich abhängig ist, da über den gesamten Bereich gute bis sehr gute Übereinstimmungen („Nullwerte“ auf der y-Achse) zu finden sind (Abbildung 5.2.2-3).

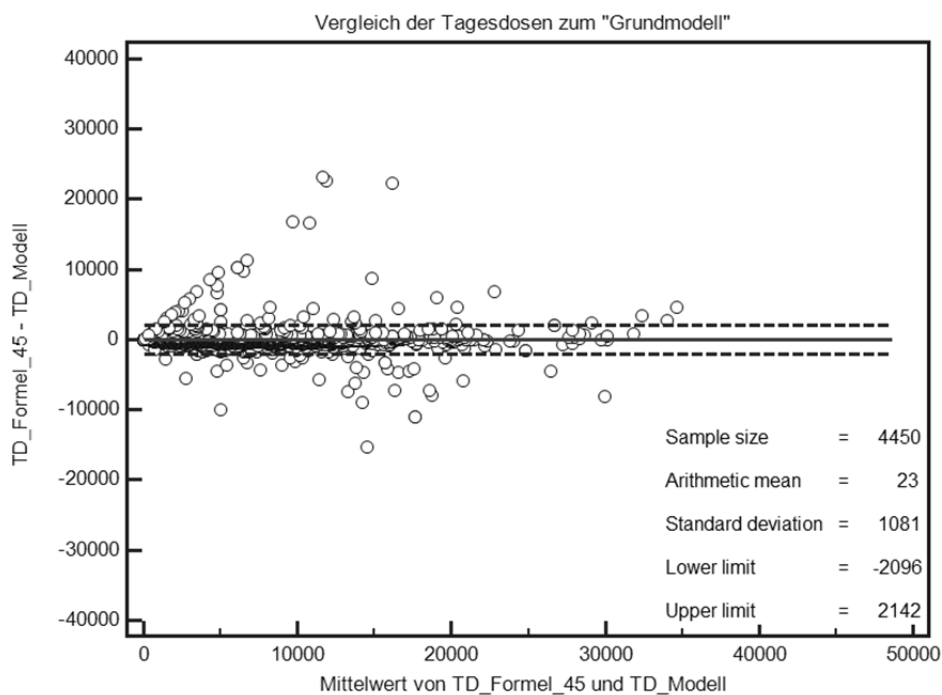


Abbildung 5.2.2-3: Bland-Altman Diagramm zum Vergleich der Datensätze (TD_{Modell}) und (TD_{Formel_45}); Dosisangaben in Nh

Die durchschnittliche Abweichung zwischen beiden Datensätzen beträgt 23 Nh (± 1.081 Nh) und die Übereinstimmungsgrenzen („limits of agreement“ = $\pm 1,96 \cdot \text{Standardabw.}$) reichen von ca. -2,1 kNh bis ca. 2,1 kNh.

5.2.2.2 Reduzierter Formelsatz (Formel_22)

Nach Reduzierung des Formelsatzes von 45 auf 22 Gleichungen wurde wiederum ein Vergleich der Datensätze ($\text{TD}_{\text{Modell}}$) und ($\text{TD}_{\text{Formel_22}}$) durchgeführt, wobei die entsprechenden Korrelationswerte immer noch als „gut“ einzustufen sind ($R^2 = 0,8782$, $\text{ICC} = 0,934$). Die zugehörige Regressionsgerade ist in Abbildung 5.2.2-4 dargestellt.

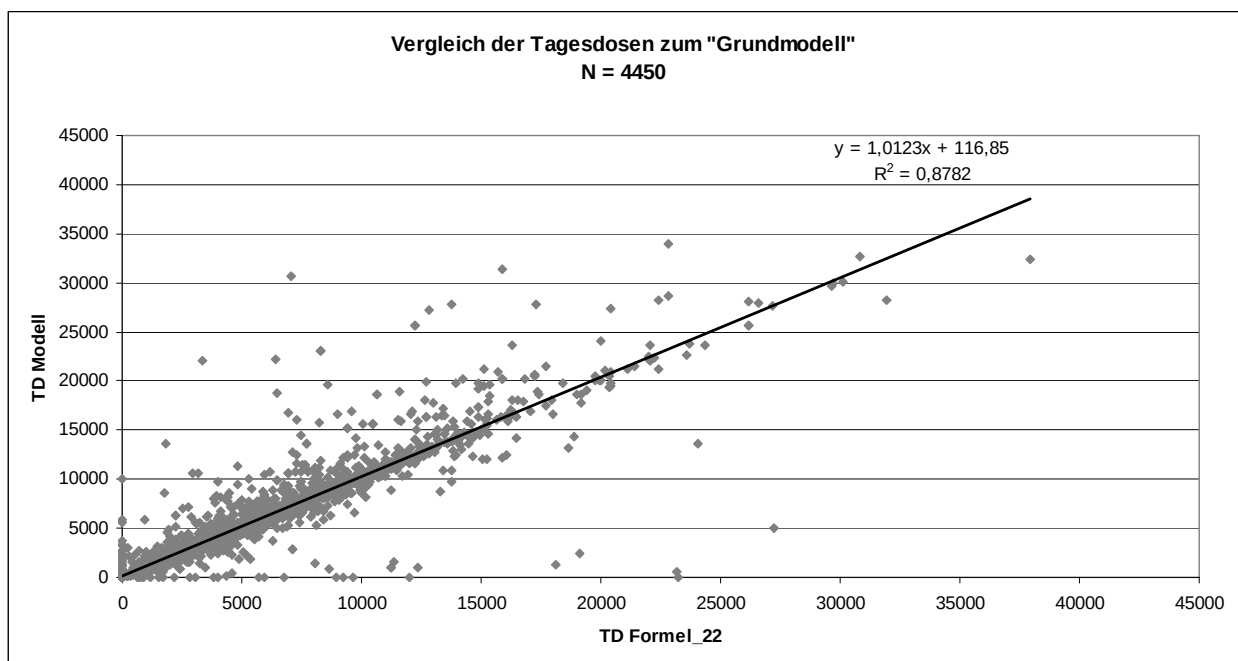


Abbildung 5.2.2-4: Lineare Regression und Bestimmtheitsmaß für den Vergleich der Datensätze ($\text{TD}_{\text{Modell}}$) und ($\text{TD}_{\text{Formel_22}}$); Dosisangaben in Nh

Die Berechnung der prozentualen Abweichungen zwischen beiden Datensätzen auf Basis des reduzierten Formelsatzes ($\text{TD}_{\text{Formel_22}}$) zeigt eine leichte Verschlechterung gegenüber den prozentualen Abweichungen gemäß „Basisformelsatz“. So lagen 3.502 Wertepaare (ca. 79 %) im Bereich von ± 10 % Abweichung, während die restlichen 21 % eine höhere Abweichung aufweisen (Abbildung 5.2.2-5).

Der Methodenvergleich nach der Bland-Altman-Methode ergab ein ähnliches Bild (Abbildung 5.2.2-6): Die Ergebnisse sind als etwas schlechter einzustufen als die vergleich-

baren Resultate gemäß „Basisformelsatz“, aber immer noch als akzeptabel anzusehen. So beträgt die durchschnittliche Abweichung zwischen beiden Datensätzen -173 Nh (± 1.543 Nh) und die Übereinstimmungsgrenzen reichen von ca. -3,2 kNh bis ca. 2,9 kNh.

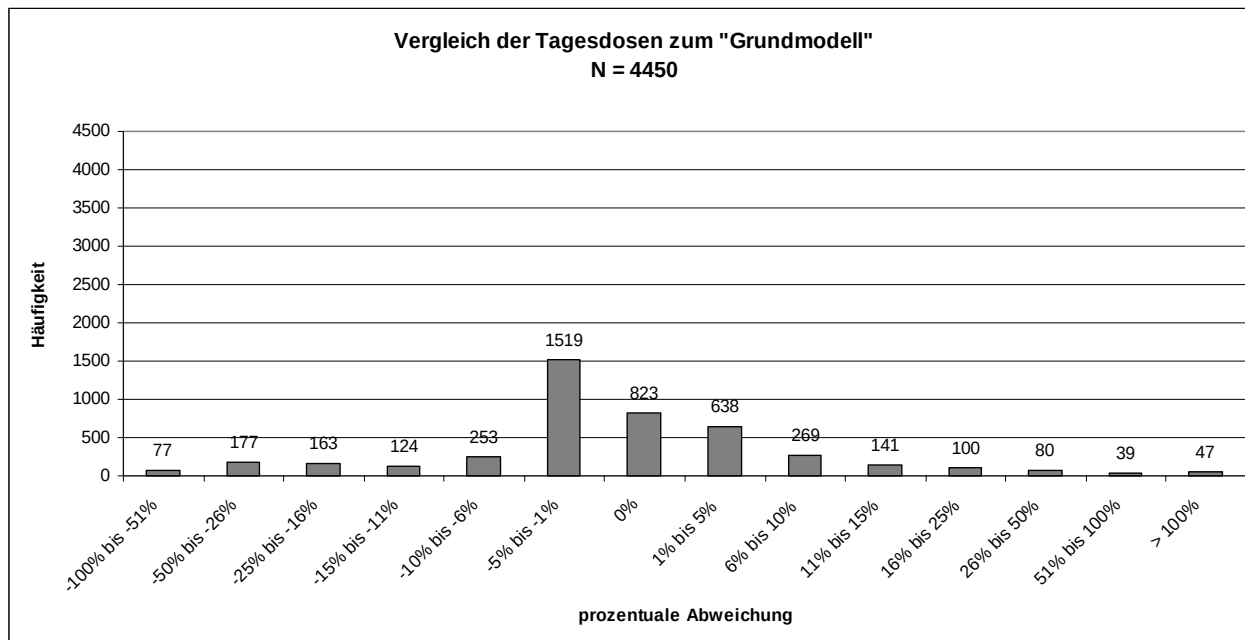


Abbildung 5.2.2-5: Prozentuale Abweichungen der Wertepaare aus dem Vergleich der Datensätze (TD_{Modell}) und (TD_{Formel_22})

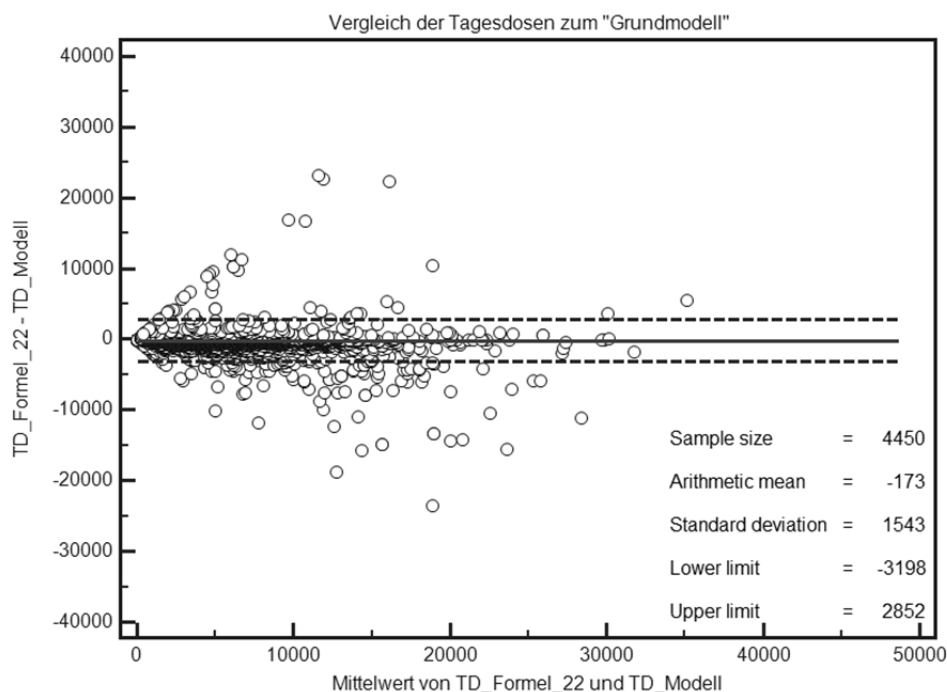


Abbildung 5.2.2-6: Bland-Altman Diagramm zum Vergleich der Datensätze (TD_{Modell}) und (TD_{Formel_22}); Dosisangaben in Nh

5.2.2.3 Finaler Formelsatz (Formel_11)

Nach einer weiteren Reduktion auf insgesamt 11 Bestimmungsformeln ergaben sich für den Vergleich der Datensätze (TD_{Modell}) und ($TD_{\text{Formel_11}}$) ähnlich gute Übereinstimmungen zwischen beiden Variationen der Tagesdosisermittlung wie für den „Basisformelsatz“ und den „reduzierten Formelsatz“. Die Korrelation zwischen beiden Datensätzen lässt sich mit $R^2 = 0,8727$ bzw. $ICC = 0,933$ weiterhin als „gut“, und die entsprechende Regressionsanalyse zeigt die im Mittel gute Anpassung (Abbildung 5.2.2.-7).

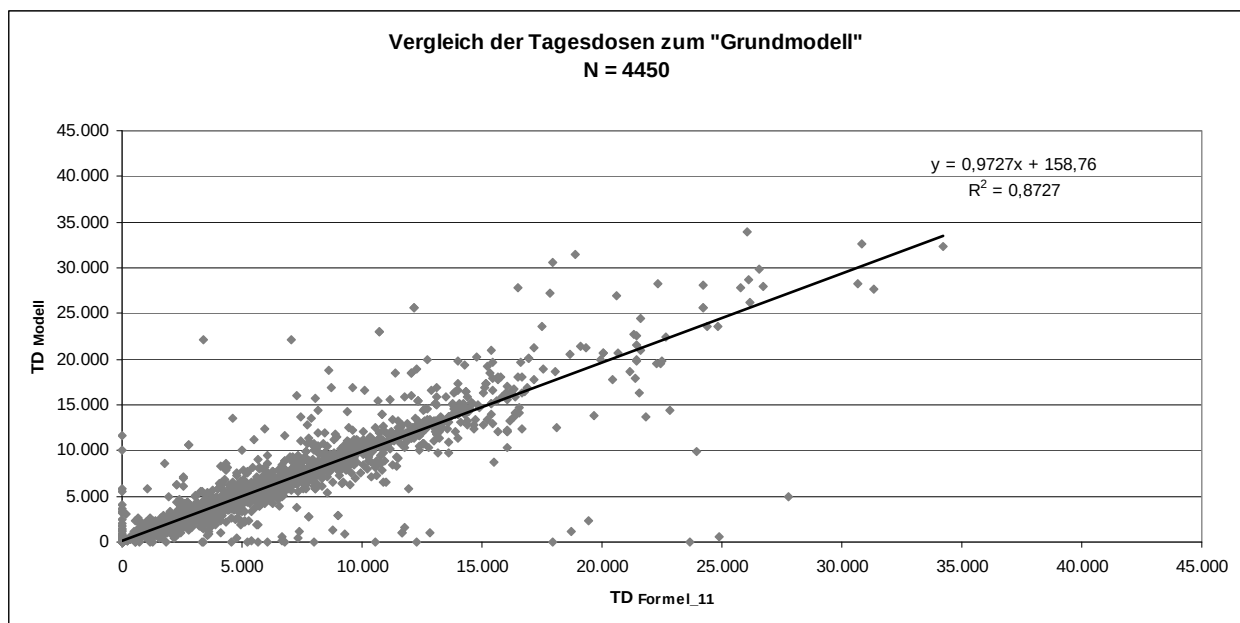


Abbildung 5.2.2-7: Lineare Regression und Bestimmtheitsmaß für den Vergleich der Datensätze (TD_{Modell}) und ($TD_{\text{Formel_11}}$); Dosisangaben in Nh

Die Berechnung der prozentualen Abweichungen zwischen beiden Verfahren ergab eine weitere Verschlechterung gegenüber dem Vergleich auf Grundlage des „reduzierten Formelsatzes“. So lagen für den Vergleich auf Basis der „finalen Bestimmungsgleichungen“ ca. 72 % der Daten (3.213 Wertepaare) in einem Bereich von $\pm 10\%$ Abweichung, während die restlichen ca. 28 % eine größere Abweichung aufwiesen (Abbildung 5.2.2-8).

Das zugehörige Bland-Altman-Diagramm (Abbildung 5.2.2-9) unterstützt diese Ergebnisse: Die durchschnittliche Abweichung zwischen beiden Verfahren liegt bei lediglich -30 Nh (± 1.546 Nh), allerdings zeigt das Diagramm stärkere Ausreißer. Dies drückt sich auch in den deutlich erweiterten Übereinstimmungsgrenzen aus (ca. -3,1 kNh bis ca. 3,0 kNh).

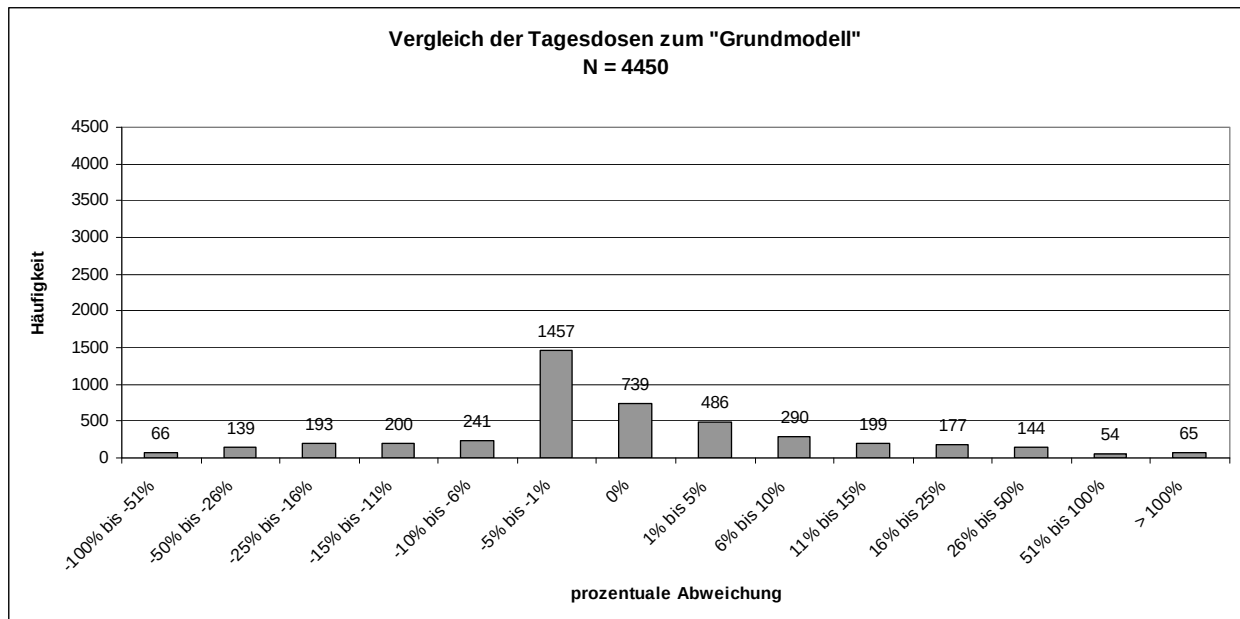


Abbildung 5.2.2-8: Prozentuale Abweichungen der Wertepaare aus dem Vergleich der Datensätze (TD_{Modell}) und (TD_{Formel_11})

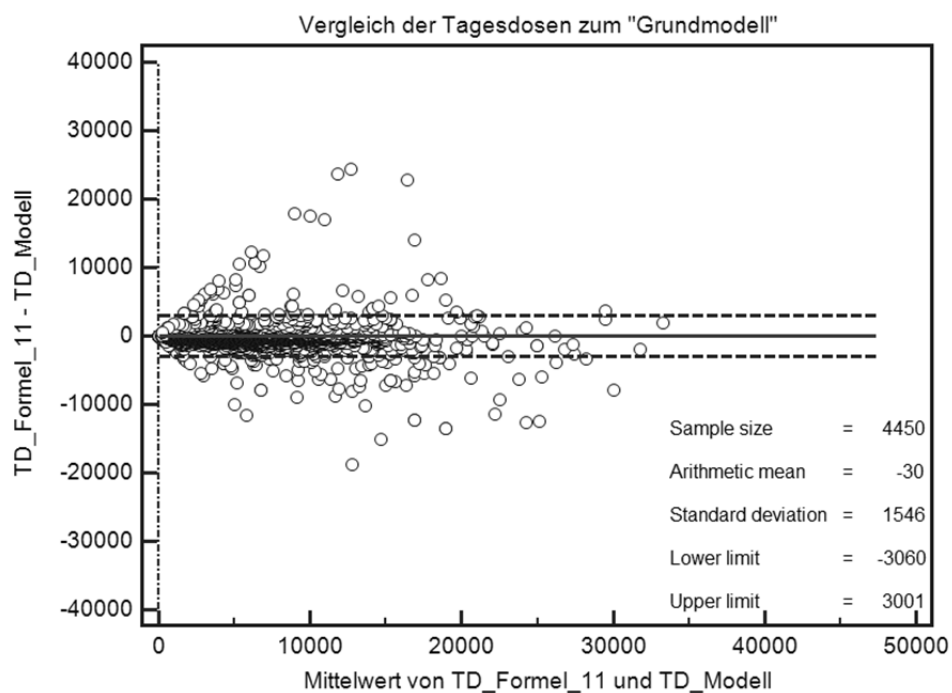


Abbildung 5.2.2-9: Bland-Altman Diagramm zum Vergleich der Datensätze (TD_{Modell}) und (TD_{Formel_11}); Dosisangaben in Nh

5.2.2.3.1 Ausreißeranalyse für den finalen Formelsatz

Die in Abbildung 5.2.2-10 auffälligen „Ausreißer“ wurden einer speziellen Analyse unterzogen, um die Ursachen für die in diesen Fällen z. T. starken Abweichungen der auf

den Bestimmungsgleichungen basierenden Tagesdosen von den biomechanisch hergeleitete-hergeleiteten Werten zu erkennen. Dabei zeigten sich einige typische Belastungsarten, die aufgrund der Vereinfachungen im Berechnungsverfahren jeweils unter- oder überschätzt wurden. Zu den typischen Belastungen, die zur Überschätzung der „echten“ Tagesdosis führten, zählen insbesondere Tragetätigkeiten auf dem Rücken, die mit der Bestimmungsgleichung G 9 „Tragen auf Schulter(n) oder Rücken“ abgedeckt wurden. Diese Gleichung wurde aus der biomechanischen Simulation für das „Tragen auf einer Schulter“ abgeleitet und überschätzt das reine „Tragen auf dem Rücken“ hinsichtlich der Bandscheiben-Druckkraft. Ein typisches Beispiel für das Unterschätzen der realen Tagesdosis fand sich im „Halten mit verdrehtem Oberkörper“, da die höhere Belastung durch die Verdrehung in der in diesen Situationen anzuwendenden Bestimmungsgleichung G 10 „Halten vor dem Körper, beidseits des Körpers oder auf Schulter(n) bzw. Rücken“ nicht berücksichtigt ist. Einzelne Ausreißer und ihre Ursachen sind in Abbildung 5.2.2-10 farbig markiert und erläutert. Insgesamt zeigte sich, dass die Ausreißer durch Ausnahmesituationen mit eher seltenen Belastungen verursacht wurden.

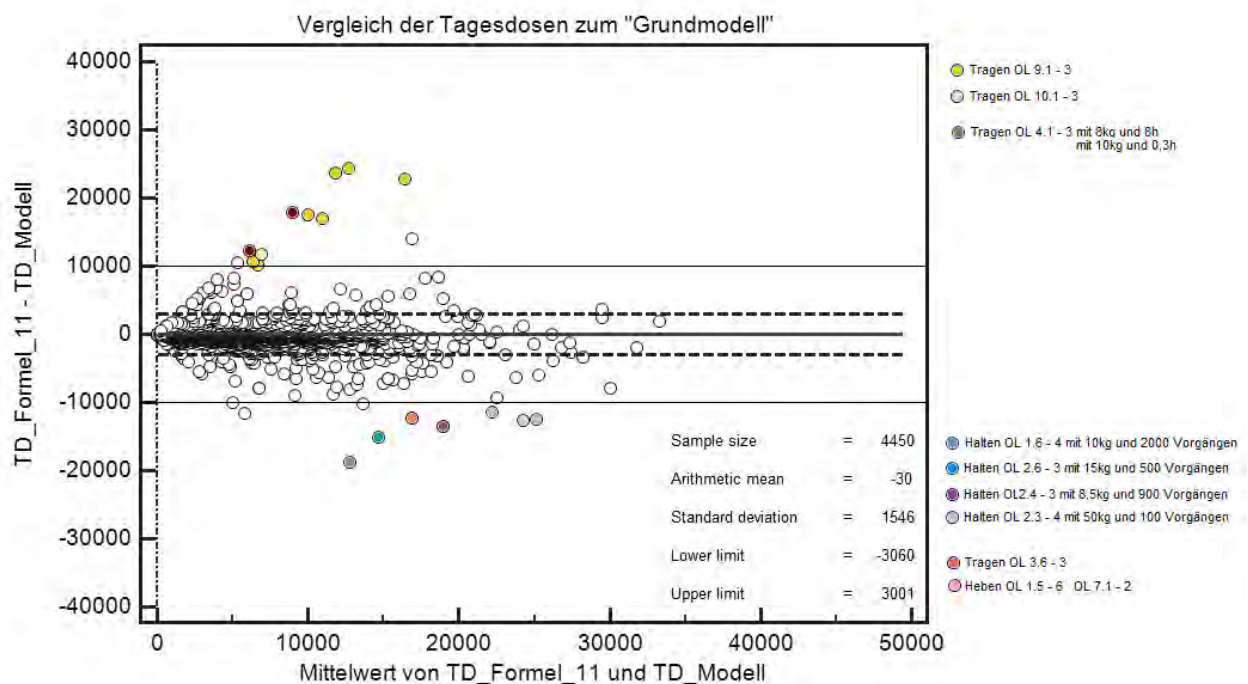


Abbildung 5.2.2-10: Bland-Altman-Diagramm mit Beschreibung von „Ausreißern“ (Grundlage: (TD_{Formel_11})); Dosisangaben in Nh

5.2.3 Analyse von Einzelbelastungen

Die Auswertung von Einzelbelastungen wurde gemäß der in Kapitel 4.2.3 beschriebenen Vorgehensweise durchgeführt.

a) Heben/Umsetzen/Absenken von Lasten

Das Vorkommen manueller Hebe-, Umsetz- und Absenkvorgänge im TAD-Datensatz ist in Tabelle 5.2.3-1 unabhängig vom gehandhabten Lastgewicht dargestellt. Darüber hinaus zeigt die Tabelle die durchschnittlichen „Last*Zeit-Werte“ pro Jahr in der Kategorie „Heben/Umsetzen/Absenken“.

Tabelle 5.2.3-1: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in Tonnen*Sekunden [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
N	225	181	114	137	309	233
Vorkommen der Belastung	92 %	76 %	92 %	90 %	91 %	75 %
Statistische Maßzahlen „Heben/Umsetzen/Absenken“ (Jahreswerte in [t*s])						
Median	106	28	100	39	65	17
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	3.670	3.429	9.568	2.095	15.015	3.689
Mittelwert	282	102	442	99	352	88
Standardabweichung	499	293	1.146	244	1.153	291
5. Perzentil	0	0	0	0	0	0
25. Perzentil	25	0	20	7	12	0
75. Perzentil	327	86	387	88	232	79
95. Perzentil	1.273	409	2.026	346	1.469	352

Demnach können manuelle Hebetätigkeiten als weit verbreitet innerhalb des Probandenkollektivs der TAD-Probanden gelten (Vorkommen von 75 % bis 92 %). Betrachtet man die Medianwerte bei den Fällen, so ergeben sich für Männer durchschnittliche Jahreswerte von ca. 100 t*s (Tonnen*Sekunden) und für Frauen Werte zwischen ca. 30 t*s und 40 t*s. Die entsprechenden Medianwerte der Kontrollprobanden liegen jeweils deutlich niedriger (KGm mit ca. 65 t*s, KGw mit ca. 20 t*s).

Tabelle 5.2.3-2 zeigt die entsprechende Auswertung für die Unterkategorien der Kontrollprobanden. Wie zu erwarten, ist eine graduelle Zunahme des Vorkommens der Belastung von den „nicht-belasteten“ zu den „belasteten“ Kontrollprobanden erkennbar, sowohl bei den Männern als auch den Frauen. Aufgrund der teilweise sehr geringen Probandenzahlen in den einzelnen Kategorien sind diese Ergebnisse allerdings schwer interpretierbar und eine Darstellung des 5., 25., 75. und 95. Perzentils ist hier nicht sinnvoll.

Tabelle 5.2.3-2: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in Tonnen*Sekunden [t*s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
N	7	9	16	11	286	213
Vorkommen der Belastung	71 %	11 %	88 %	55 %	92 %	79 %
Statistische Maßzahlen „Heben/Umsetzen/Absenken“ (Jahreswerte in [t*s])						
Median	4	0	36	9	69	22
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	36	9	1.934	32	15.015	3.689
Mittelwert	9	1	266	10	365	96
Standardabweichung	13	3	510	11	1.192	303
5. Perzentil	-	-	-	-	0	0
25. Perzentil	-	-	-	-	13	2
75. Perzentil	-	-	-	-	235	88
95. Perzentil	-	-	-	-	1.514	373

Werden die Medianwerte der durchschnittlichen Jahresangaben von den Stichproben-Kontrollen gewichtet auf die jeweilige Gesamtzahl der Kontrollen übertragen, ergeben sich für die Gesamtzahl der DWS-Kontrollen die in Tabelle 5.2.3-3 dargestellten Werte.

Tabelle 5.2.3-3: Durchschnittliche Jahreswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	36	0
Minimum	0	0
Maximum	15.015	3.689
Mittelwert	237	46
Standardabweichung	961	214

Demnach beträgt der Median für die männlichen Kontrollen 36 t*s und für Frauen 0 t*s.

Analog zu den durchschnittlichen Jahreswerten sind in Tabelle 5.2.3-4 die entsprechenden Tageswerte für die Kategorie „Heben/Umsetzen/Absenken“ abgebildet.

Tabelle 5.2.3.-4: Durchschnittliche Tageswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [kg*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
Median	483	128	457	179	294	79
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	16.684	15.586	43.491	9.523	68.251	16.767
Mittelwert	1.280	466	2.007	448	1.600	399
Standardabweichung	2.268	1.334	5.207	1.108	5.242	1.322
5. Perzentil	0	0	0	0	0	0
25. Perzentil	112	2	90	31	56	1
75. Perzentil	1.485	392	1.759	400	1.054	359
95. Perzentil	5.785	1.858	9.209	1.573	6.676	1.598

Der durchschnittliche Tageswert für die Fallgruppen 1 und 3 liegt demnach im Median bei ca. 480 kg*s (FG1) und 460 kg*s (FG3) und damit deutlich über dem Wert für die „belasteten“ männlichen Kontrollen (294 kg*s). Bei den Frauen sind ähnliche Verhältnisse zu erkennen. Tabelle 5.2.3-5 zeigt die entsprechenden Werte für alle vom TAD interviewten Kontrollprobanden.

Tabelle 5.2.3-5: Durchschnittliche Tageswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [kg*s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
Median	18	0	162	40	314	101
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	166	39	8.790	146	68.251	16.767
Mittelwert	42	4	1.208	44	1.660	434
Standardabweichung	59	13	2.318	51	5.417	1.378
5. Perzentil	-	-	-	-	0	0
25. Perzentil	-	-	-	-	60	8
75. Perzentil	-	-	-	-	1.067	398
95. Perzentil	-	-	-	-	6.881	1.693

Die auf Grundlage der Stichprobendaten der „nicht-“ und „gering-belasteten“ Kontrollen gemittelten Tageswerte für alle DWS-Kontrollen sind in Tabelle 5.2.3-6 dargestellt.

Tabelle 5.2.3-6: Durchschnittliche Tageswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [kg*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	162	0
Minimum	0	0
Maximum	68.251	16.767
Mittelwert	1.075	211
Standardabweichung	4.369	972

Dabei ergibt sich für die männlichen Kontrollen ein Medianwert von ca. 160 kg*s und für Frauen ein Wert von 0 kg*s.

Wie diese Auswertungen gezeigt haben, können Hebe-, Umsetz- und Absenktätigkeiten im gesamten Probandenkollektiv – insbesondere bei Männern – als häufig vorkommende Formen der Lastenhandhabung angesehen werden. Hinsichtlich der Handhabung „schwerer Lasten“ wurden diese Analysen wiederholt in den Lastgewichtsklassen ≥ 20 kg (Männer) und

≥ 10 kg (Frauen). Die entsprechenden Ergebnisse sind in den Tabellen 14-5 bis 14-10 im Anhang dargestellt.

b) Tragen von Lasten

Das Vorkommen und die kumulierte Last*Zeit-Kombination manueller Tragevorgänge innerhalb des TAD-Datensatzes sind unabhängig von Trageart und Lastposition in Tabelle 5.2.3-7 in Form von durchschnittlichen Jahreswerten dokumentiert.

Manuelle Tragetätigkeiten können mit einem Vorkommen zwischen 67 % (KGw) und 89 % (FG1) als weit verbreitet innerhalb des TAD-Probandenkollektivs gelten. Betrachtet man die Medianwerte bei den Fällen, so ergeben sich für Männer durchschnittliche Jahreswerte von ca. 450 t*s bis 760 t*s und für Frauen Werte zwischen ca. 90 t*s und 130 t*s. Die entsprechenden Medianwerte der Kontrollprobanden liegen jeweils deutlich niedriger (KGm mit ca. 360 t*s, KGw mit ca. 50 t*s).

Tabelle 5.2.3-7: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Tragen von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen Angaben in Tonnen*Sekunden [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
N	225	181	114	137	309	233
Vorkommen der Belastung	89 %	70 %	85 %	83 %	83 %	67 %
Statistische Maßzahlen „Tragen“ (Jahreswerte in [t*s])						
Median	762	88	450	131	363	49
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	26.168	14.994	37.876	32.567	57.811	17.505
Mittelwert	2.090	489	1.883	682	1.583	574
Standardabweichung	3.610	1.623	4.307	2.879	4.142	1.707
5. Perzentil	0	0	0	0	0	0
25. Perzentil	165	0	64	22	33	0
75. Perzentil	2.165	433	1.974	486	1.378	425
95. Perzentil	8.117	1.557	8.453	2.532	7.454	3.394

Tabelle 5.2.3-8 zeigt die entsprechenden Jahreswerte für die Untergruppen der Kontrollprobanden.

Tabelle 5.2.3-8: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Tragen von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in Tonnen*Sekunden [t*s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
N	7	9	16	11	286	213
Vorkommen der Belastung	71 %	11 %	69 %	45 %	85 %	70 %
Statistische Maßzahlen „Tragen“ (Jahreswerte in [t*s])						
Median	26	0	238	0	405	66
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	365	27	5.506	322	57.811	17.505
Mittelwert	89	3	645	37	1.672	626
Standardabweichung	135	9	1.388	95	4.281	1.777
5. Perzentil	-	-	-	-	0	0
25. Perzentil	-	-	-	-	40	0
75. Perzentil	-	-	-	-	1.475	468
95. Perzentil	-	-	-	-	7.527	3.526

Nach Miteinbeziehung aller DWS-Kontrollen beträgt der Median der durchschnittlichen Jahreswerte für das Tragen von Lasten für die männlichen Kontrollen ca. 240 t*s und für Frauen 0 t*s (Tabelle 5.2.3-9).

Tabelle 5.2.3-9: Durchschnittliche Jahreswerte für das Tragen von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in Tonnen*Sekunden [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	238	0
Minimum	0	0
Maximum	57.811	17.505
Mittelwert	1.095	297
Standardabweichung	3.483	1.263

Analog zu den Jahreswerten sind in Tabelle 5.2.3-10 die Tageswerte für die Kategorie „Tragen“ für alle TAD-Probanden dargestellt.

Tabelle 5.2.3-10: Durchschnittliche Tageswerte für das Tragen von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [kg*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
Median	3.464	400	2.044	595	1.648	223
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	118.943	68.153	172.164	148.034	262.778	79.569
Mittelwert	9.499	2.220	8.561	3.099	7.196	2.608
Standardabweichung	16.408	7.377	19.579	13.084	18.829	7.761
5. Perzentil	0	0	0	0	0	0
25. Perzentil	750	0	292	99	152	0
75. Perzentil	9.839	1.967	8.974	2.209	6.263	1.932
95. Perzentil	36.896	7.079	38.423	11.510	33.883	15.425

Tabelle 5.2.3-11: Durchschnittliche Tageswerte für das Tragen von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [kg*s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
Median	120	0	1.081	0	1.843	298
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	1.657	122	25.029	1.464	262.778	79.569
Mittelwert	402	14	2.934	168	7.601	2.843
Standardabweichung	612	41	6.310	434	19.461	8.078
5. Perzentil	-	-	-	-	0	0
25. Perzentil	-	-	-	-	183	0
75. Perzentil	-	-	-	-	6.706	2.126
95. Perzentil	-	-	-	-	34.213	16.025

Der durchschnittliche Tageswert der Fallgruppe 1 liegt demnach im Median bei ca. 3.465 kg*s, für die Fallgruppe 3 bei ca. 2.045 kg*s. Der entsprechende Medianwert für die „belasteten“ männlichen Kontrollen liegt dagegen deutlich niedriger (1.648 kg*s). Bei den Frauen sind ähnliche Verhältnisse zu erkennen: 400 kg*s (FG2) bzw. 595 kg*s (FG4) gegenüber 223 kg*s (KGw). In Tabelle 5.2.3-11 sind die entsprechenden Tageswerte für alle TAD-interviewten Kontrollen dargestellt.

Nach Übertragung der Stichprobenergebnisse auf alle DWS-Kontrollen ergibt sich für die männlichen Kontrollen ein Medianwert von ca. 1.080 kg*s und für die weiblichen Kontrollen ein Median von 0 kg*s (Tabelle 5.2.3-12).

Tabelle 5.2.3-12: Durchschnittliche Tageswerte für das Tragen von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [kg*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	1.081	0
Minimum	0	0
Maximum	262.778	79.569
Mittelwert	4.979	1.352
Standardabweichung	15.833	5.742

Vergleichbare Analysen zu Tragevorgängen, die ausschließlich „schwere Lasten“ beinhalten (Männer ≥ 20 kg und Frauen ≥ 10 kg), sind in den Tabellen 14-11 bis 14-16 im Anhang dargestellt.

c) Halten von Lasten

Die Analysen zu den Einzelbelastungen in den Kategorien „Halten“, „Ziehen“ und „Schieben“ von Lasten haben gezeigt, dass diese Lastenmanipulationen im Vergleich zu den Hebe- und Tragetätigkeiten weitaus seltener im Probandenkollektiv vorkommen (maximal bei 35 % der TAD-Probanden). Die Einzelbelastungsanalysen in Form durchschnittlicher Jahres- und Tageswerte in diesen Kategorien finden sich in den Tabellen 14-17 bis 14-34 im Anhang.

d) Ziehen von Lasten

Siehe c)

e) Schieben von Lasten

Siehe c)

In Tabelle 5.2.3-13 bis Tabelle 5.2.3-15 sind die Ergebnisse der Einzelbelastungsanalysen für den Bereich „Lastenhandhabungen“ zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 5.2.3-13: Gesamtübersicht „Lastenhandhabung“: Vorkommen, durchschnittliche Jahres- und Tageswerte in fünf Kategorien über alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe; [t*s] = Tonnen*Sekunden)

Vorkommen	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
Heben / Umsetzen / Absenken [%]	92	76	92	90	91	75
Tragen [%]	89	70	85	83	83	67
Halten [%]	35	8	25	3	28	7
Ziehen [%]	23	19	14	20	18	15
Schieben [%]	31	23	30	28	35	28
Jahreswerte (Mediane)						
Heben / Umsetzen / Absenken [t*s]	106	28	100	39	65	17
Tragen [t*s]	762	88	450	131	363	49
Halten [t*s]	0	0	0	0	0	0
Ziehen [t*s]	0	0	0	0	0	0
Schieben [t*s]	0	0	0	0	0	0
Tageswerte (Mediane)						
Heben / Umsetzen / Absenken [kg*s]	483	128	457	179	294	79
Tragen [kg*s]	3.464	400	2.044	595	1.648	223
Halten [kg*s]	0	0	0	0	0	0
Ziehen [t*s]	0	0	0	0	0	0
Schieben [t*s]	0	0	0	0	0	0

Tabelle 5.2.3-14: Gesamtübersicht „Lastenhandhabung“: Vorkommen, durchschnittliche Jahres- und Tageswerte in fünf Kategorien für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3); [t*s] = Tonnen*Sekunden

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
Vorkommen						
Heben / Umsetzen / Absenken [%]	71	11	88	55	92	79
Tragen [%]	71	11	69	45	85	70
Halten [%]	0	11	6	0	30	8
Ziehen [%]	0	11	6	9	19	16
Schieben [%]	0	11	19	0	37	30
Jahreswerte (Mediane)						
Heben / Umsetzen / Absenken [t*s]	4	0	36	9	69	22
Tragen [t*s]	26	0	238	0	405	66
Halten [t*s]	0	0	0	0	0	0
Ziehen [t*s]	0	0	0	0	0	0
Schieben [t*s]	0	0	0	0	0	0
Tageswerte (Mediane)						
Heben / Umsetzen / Absenken [kg*s]	18	0	162	40	314	101
Tragen [kg*s]	120	0	1.081	0	1.843	298
Halten [kg*s]	0	0	0	0	0	0
Ziehen [t*s]	0	0	0	0	0	0
Schieben [t*s]	0	0	0	0	0	0

Tabelle 5.2.3-15: Gesamtübersicht „Lastenhandhabung“: Durchschnittliche Jahres- und Tageswerte in fünf Kategorien für alle DWS-Kontrollen. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen); [t*s] = Tonnen*Sekunden

	KGm ges	KGw ges
Jahreswerte (Mediane)		
Heben / Umsetzen / Absenken [t*s]	36	0
Tragen [t*s]	238	0
Halten [t*s]	0	0
Ziehen [t*s]	0	0
Schieben [t*s]	0	0
Tageswerte (Mediane)		
Heben / Umsetzen / Absenken [kg*s]	162	0
Tragen [kg*s]	1.081	0
Halten [kg*s]	0	0
Ziehen [t*s]	0	0
Schieben [t*s]	0	0

Ähnlich der Vorgehensweise bei der Analyse der Lastenhandhabungen erfolgten Auswertungen zu Vorkommen, durchschnittlichen Jahres- und Tageswerten im Bereich lastgewichtsunabhängiger Rumpfbeugehaltungen verschiedener Ausprägung ($\geq 45^\circ$, $\geq 75^\circ$, $\geq 90^\circ$).

f) Rumpfbeugen $\geq 45^\circ$

Das reine Vorkommen von Rumpfbeugehaltungen ab 45° im TAD-Datensatz sowie die durchschnittlich in diesen Haltungen verbrachte Zeit pro Jahr sind in Tabelle 5.2.3-16 dargestellt. Wie der Tabelle zu entnehmen ist, handelt es sich bei dieser Form der Rumpfbeuge um eine im Datensatz häufig vorkommende Belastungsart: Das Vorkommen reicht von 82 % (KGm) bis 91 % (FG1).

Tabelle 5.2.3-16: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 45^\circ$ “ für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [h]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
N	225	181	114	137	309	233
Vorkommen der Belastung	91 %	86 %	83 %	88 %	82 %	82 %
Statistische Maßzahlen „Rumpfbeuge $\geq 45^\circ$“ (Jahreswerte in [h])						
Median	53	24	34	26	24	17
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	876	1.150	1.229	920	1.041	1.092
Mittelwert	112	90	125	77	88	60
Standardabweichung	155	167	203	141	164	136
5. Perzentil	0	0	0	0	0	0
25. Perzentil	12	5	4	4	2	2
75. Perzentil	143	92	145	65	90	44
95. Perzentil	456	432	567	427	427	319

Betrachtet man die Medianwerte bei den Fällen, so ergeben sich für Männer durchschnittliche Jahreswerte von 34 bis 53 Stunden pro Jahr und für Frauen Werte von ca. 25 Stunden pro Jahr in dieser Rumpfbeugehaltung. Die entsprechenden Medianwerte der Kontrollprobanden liegen jeweils niedriger (KGm mit 24 h, KGw mit 17 h).

Tabelle 5.2.3-17 zeigt die entsprechende Auswertung für die Unterkategorien der Kontrollprobanden. Eine Zunahme des Vorkommens der Belastung von den „nicht-belasteten“ zu den „belasteten“ Kontrollprobanden ist bei den Frauen deutlicher zu erkennen als bei den Männern. Der Median jedoch zeigt die durchschnittliche Zunahme von „nicht-belasteten“ zu „belasteten“ Kontrollen für beide Geschlechter. Auch hier sind bei der Interpretation der Ergebnisse die teilweise sehr geringen Klassenstärken der einzelnen Subkategorien zu beachten.

Tabelle 5.2.3-17: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 45^\circ$ “ für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [h].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
N	7	9	16	11	286	213
Vorkommen der Belastung	29 %	33 %	88 %	64 %	83 %	85 %
Statistische Maßzahlen „Rumpfbeuge $\geq 45^\circ$“ (Jahreswerte in [h])						
Median	0	0	15	3	27	19
Minimum	0	0	0	0	0	0,00
Maximum	20	3	76	366	1.041	1.092
Mittelwert	3	1	28	38	93	64
Standardabweichung	7	1	27	109	170	139
5. Perzentil	-	-	-	-	0	0
25. Perzentil	-	-	-	-	2	3
75. Perzentil	-	-	-	-	99	51
95. Perzentil	-	-	-	-	442	319

Tabelle 5.2.3-18 zeigt die Ergebnisse übertragen auf die Gesamtzahl der DWS-Kontrollen.

Tabelle 5.2.3-18: Durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 45^\circ$ “ für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [h]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	15	1
Minimum	0	0
Maximum	1.041	1.092
Mittelwert	61	31
Standardabweichung	141	101

Die entsprechenden Ergebnisse für die durchschnittlich pro Tag in einer Rumpfbeugehaltung ab 45° verbrachte Zeit sind in Tabelle 5.2.3-19 bis Tabelle 5.2.3-21 dokumentiert. Hier liegen die durchschnittlichen Tageswerte (Mediane) für Fallgruppe 1 (866 s) und Fallgruppe 3 (556 s) höher als die für die „belasteten“ männlichen Kontrollen (446 s) bzw. die „gemittelten“ männlichen DWS-Kontrollen (245 s). Analog gilt dies auch für die weiblichen

Probanden: Probandinnen der Fallgruppen zeigen eine höhere durchschnittliche Tagesbe-
Tagesbelastung (FG2: 392 s, FG4: 419 s) als die „belasteten“ weiblichen TAD-Kontrollen
(314 s) bzw. die weiblichen DWS-Kontrollen (9 s).

Tabelle 5.2.3-19: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfheugen $\geq 45^\circ$ “ für alle TAD-Probanden,
unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [s]. (FG = Fallgruppe, KGm =
männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
Median	866	392	556	419	387	271
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	14.326	18.818	20.106	15.055	17.037	17.869
Mittelwert	1.837	1.474	2.037	1.261	1.441	986
Standardabweichung	2.539	2.739	3.314	2.312	2.690	2.222
5. Perzentil	0	0	0	0	0	0
25. Perzentil	197	79	61	57	29	31
75. Perzentil	2.333	1.502	2.374	1.069	1.472	725
95. Perzentil	7.468	7.069	9.286	6.991	6.981	5.218

Tabelle 5.2.3-20: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfheugen $\geq 45^\circ$ “ für alle TAD-interviewten
Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2)
und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
Median	0	0	245	42	446	314
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	325	42	1.251	5.991	17.037	17.869
Mittelwert	51	9	463	626	1.529	1.046
Standardabweichung	121	16	438	1.783	2.775	2.280
5. Perzentil	-	-	-	-	0	0
25. Perzentil	-	-	-	-	34	51
75. Perzentil	-	-	-	-	1.614	840
95. Perzentil	-	-	-	-	7.228	5.218

Tabelle 5.2.3-21: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfbeugen $\geq 45^\circ$ “ für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	245	9
Minimum	0	0
Maximum	17.037	17.869
Mittelwert	1.000	502
Standardabweichung	2.312	1.654

g) Rumpfbeugen $\geq 75^\circ$

Tätigkeiten in starker Rumpfbeugung (Oberkörperverneigung $\geq 75^\circ$) kommen im Probandenkollektiv relativ häufig vor (Vorkommen 68 % bis 79 %). Der durchschnittliche Tageswert (Median) für die männlichen Fälle liegt bei drei bis vier Minuten pro Tag in starker Rumpfbeuge und für die weiblichen Fälle unterhalb von zwei Minuten. Für die „belasteten“ TAD-Kontrollen sind die entsprechenden Werte annähernd halb so hoch, während sich für die DWS-Kontrollen durchschnittliche Tageswerte von knapp einer Minute (Männer) bzw. Null Minuten (Frauen) ergeben. Die detaillierten Angaben zu Vorkommen, durchschnittlichen Tages- und Jahreswerten in den verschiedenen Fall- und Kontrollgruppen finden sich in den Tabellen 14-35 bis 14-40 im Anhang.

h) Rumpfbeugen $\geq 90^\circ$

Tätigkeiten in extremer Rumpfbeugung (Oberkörperverneigung $\geq 90^\circ$) sind im Gegensatz zu den weniger stark ausgeprägten Rumpfbeugehaltungen weitaus seltener im TAD-Datensatz zu finden: Hier reicht das Vorkommen von 25 % (KGw) bis zu 35 % (FG1). Diese relativ geringe Häufigkeit spiegelt sich auch in den durchschnittlichen Tages- und Jahreswerten für die einzelnen Probandengruppen wider, die als Median jeweils den Wert Null aufweisen (siehe Tabellen 14-41 bis 14-46 im Anhang).

Abschließend sind in 5.2.3-22 bis Tabelle 5.2.3-24 die Ergebnisse der Einzelbelastungsanalysen im Bereich der untersuchten Rumpfbeugehaltungen zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 5.2.3-22: Gesamtübersicht „Rumpfbeugen“: Vorkommen, durchschnittliche Jahres- und Tageswerte in drei Kategorien über alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
Vorkommen						
ab 45° [%]	91	86	83	88	82	82
ab 75° [%]	79	72	73	78	68	68
ab 90° [%]	35	30	32	34	26	25
Jahreswerte (Mediane)						
ab 45° [h]	53	24	34	26	24	17
ab 75° [h]	13	6	11	7	5	3
ab 90° [h]	0	0	0	0	0	0
Tageswerte (Mediane)						
ab 45° [s]	866	392	556	419	387	271
ab 75° [s]	216	93	181	110	81	49
ab 90° [s]	0	0	0	0	0	0

Tabelle 5.2.3-23: Gesamtübersicht „Rumpfbeugen“: Vorkommen, durchschnittliche Jahres- und Tageswerte in drei Kategorien für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3)

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
Vorkommen						
ab 45° [%]	29	33	88	64	83	85
ab 75° [%]	14	22	63	45	69	71
ab 90° [%]	0	0	19	9	27	27
Jahreswerte (Mediane)						
ab 45° [h]	0	0	15	3	27	19
ab 75° [h]	0	0	6	0	6	4
ab 90° [h]	0	0	0	0	0	0
Tageswerte (Mediane)						
ab 45° [s]	0	0	245	42	446	314
ab 75° [s]	0	0	95	0	91	72
ab 90° [s]	0	0	0	0	0	0

Tabelle 5.2.3-24: Gesamtübersicht „Rumpfbeugen“: Durchschnittliche Jahres- und Tageswerte in drei Kategorien für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [kg*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm	KGw
Jahreswerte (Mediane)		
ab 45° [h]	15	1
ab 75° [h]	3	0
ab 90° [h]	0	0
Tageswerte (Mediane)		
ab 45° [s]	245	9
ab 75° [s]	43	0
ab 90° [s]	0	0

6 Für das Vorhaben relevante Ergebnisse, Veröffentlichungen, Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen

Für das Vorhaben relevante Ergebnisse, Veröffentlichungen und Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte von nicht am Vorhaben beteiligten Forschungsstellen liegen nicht vor.

7 Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des Forschungs-zwecks/-ziels

7.1 Diskussion zu Projektteil I

Die vorliegende vertiefende Reanalyse der Daten der Deutschen Wirbelsäulenstudie (DWS) basiert auf der prinzipiellen Vorgehensweise des Mainz-Dortmunder Dosismodells: Für Lastenhandhabungen und belastungsintensive Körperhaltungen werden vorgangsspezifische Bandscheiben-Druckkräfte ermittelt, und diese Druckkräfte werden entsprechend der Auftretenshäufigkeit und der Dauer der Vorgänge für die gesamte Berufstätigkeit in Form von kumulierten Dosiswerten aufsummiert (über Schichten, Beschäftigungsabschnitte, Jahre bis hin zum gesamten Berufsleben).

Die vertiefende Reanalyse der Daten der Deutschen Wirbelsäulenstudie ist durch drei fundamental neue Ansätze gekennzeichnet:

- die separate und kleinschrittige Variation von Eigenschaften (i. d. R. „Schwellen“) des Mainz-Dortmunder Dosismodells mit Analyse der Auswirkungen auf die Anpassungsgüte der resultierenden Dosismodelle,
- die bestmögliche Ausnutzung aller studienimmanenten Informationen durch die Modellierung der Dosis-Wirkungs-Beziehung a) auf der Grundlage der kontinuierlichen Daten, b) unter Einsatz von fraktionalen Polynomen 2. und 4. Grades sowie c) unter Einsatz gewichteter Mittelungsverfahren (Multi-Modell-Ansätze),
- die Ermittlung der Verdopplungsdosis (also derjenigen Dosis, bei der der Punktschätzer des fallgruppenspezifischen relativen Erkrankungsrisikos 2 beträgt) mit 95 %-Konfidenzintervallen.

Im Folgenden soll kurz das methodische Vorgehen bezüglich dieser drei Punkte mit den resultierenden Kernergebnissen zusammengefasst werden. Anschließend wird für jeden einzelnen Punkt eine Bewertung der Ergebnisse vorgenommen. Eine Gesamtbewertung der Ergebnisse erfolgt insbesondere im Rahmen der Diskussion des dritten Punktes. Dabei wird auch auf die Limitationen der Abschätzung der Verdopplungsdosis-Werte eingegangen. Die Kenntnis der Deutschen Wirbelsäulenstudie wird im Folgenden zwar grundsätzlich vorausgesetzt. Soweit allerdings wichtige potenzielle Verzerrungsfaktoren bei der Bewertung der Gesamtergebnisse der DWS-Richtwertestudie zu berücksichtigen sind (Punkt 3), wird auf diese nachfolgend explizit eingegangen (ungeachtet etwaiger Redundanzen mit den Veröffentlichungen der DWS).

7.1.1 Bewertung der Ergebnisse bei Variation einzelner Eigenschaften des Mainz-Dortmunder Dosismodells

Einzelne Eigenschaften des Mainz-Dortmunder Dosismodells (i. d. R. „Schwellen“, ab denen Belastungen bei der Dosisberechnung berücksichtigt werden) wurden separat variiert; dabei waren die resultierenden neuen Dosismodelle dahingehend zu untersuchen, inwieweit sie die Dosis-Wirkungs-Beziehungen in der DWS adäquat abbilden können. Ein besonderes Ziel der Studie bestand dabei darin, die Mindestwerte für Druckkraft, Rumpfvorneigung und Tagesdosis zu ermitteln, ab denen die entsprechenden Belastungen als risikorelevant hinsichtlich der Entwicklung der betreffenden bandscheibenbedingten LWS-Erkrankungen (Prolaps bzw. Chondrose) anzusehen sind und somit in die Dosiskumulation eingehen sollten. Als Maß der Anpassungsgüte diente das Akaike Information Criterion (AIC). Es erfolgte ein Vergleich der Anpassungsgüte der resultierenden neuen Dosismodelle.

Dabei wurden zunächst qualitativ unterschiedliche Wege des Umgangs mit Schwellen untersucht (siehe Kap. 5.1.2.4): Bei der Berechnung von Dosiswerten werden im MDD alle körperlichen Belastungen ab definierten Schwellenwerten „mit dem vollen Wert“ einbezogen, während Belastungsvorgänge mit einem Wert unterhalb einer Schwelle gänzlich unberücksichtigt bleiben. Zwei andere Ansätze gehen davon aus, dass nur der Anteil oberhalb der Schwelle („Schwellwert-Überschuss“) oder nur der Anteil oberhalb der „Grundbelastung“, d. h. derjenigen beim aufrechten Stehen ohne Last („Basiswert-Abzug“), in die Dosisberechnung eingeht. Im Ergebnis dieser sogenannten „Sensitivitätsanalyse Schwellenwertprüfung“ kann der im Mainz-Dortmunder Dosismodell 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.

Anschließend wurden die Schwellen für Druckkraft, Rumpfvorneigehaltung, Tagesdosis schrittweise variiert und im Hinblick auf die Auswirkung auf die Anpassungsgüte untersucht.¹⁶ Diese Variation der Schwellenwerte erfolgte immer getrennt für die vier Fallgruppen (1. Männer mit Bandscheibenprolaps, 2. Frauen mit Bandscheibenprolaps, 3. Männer mit

¹⁶ Die Druckkraft (F) geht im MDD mit einer überproportionalen, hier quadratischen Wichtung relativ zur Vorgangsdauer (t) in die Dosis ein (analog $F^2 \cdot t$) – entsprechend dem Gedankengang, dass hohe Kräfte ein höheres Schädigungspotential aufweisen als niedrige, auch wenn diese ein wenig länger einwirken. Da sich für alle vier Fallgruppen niedrigere AIC-Werte bei quadratischer Druckkraftwichtung im Vergleich zur linearen fanden (analog $F \cdot t$; s. Kap. 5.1.1), wurden alle folgenden Analysen der DWS-Richtwertstudie mit einer quadratischen Wichtung durchgeführt.

Chondrose und 4. Frauen mit Chondrose). Die Eigenschaften wurden zunächst ausgehend von einem für alle Fallgruppen gut anpassenden Modell der DWS1, dem sogenannten „Grundmodell“ (Dosismodell 5), getrennt voneinander variiert. Das heißt: Wenn das Grundmodell eine Druckkraftschwelle von 2,0 kN, eine Rumpfvorneigungsschwelle von 45° und eine Tagesdosisschwelle von 0 kNh vorsah, wurde die Druckkraftschwelle schrittweise von 2,0 kN über 2 ¼ auf 2 ½ kN, über 2 ¾ 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 AIC-Wert als Maß für die Anpassungsgüte berechnet. Analog zur DWS wurden zum Vergleich der Anpassungsgüte unterschiedlicher Dosismodelle 95 %-Modell-Konfidenzmengen 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 jede Modelleigenschaft

- a) *Druckkraftschwelle,*
- b) *Rumpfvorneigungsschwelle,*
- c) *Tagesdosisschwelle,*
- d) *Einbezug weiterer Tätigkeiten wie Ziehen, Schieben, Werfen, Fangen*

ein fallgruppenspezifischer AIC-gewichteter Mittelwert der jeweiligen Modelleigenschaft gebildet – dies gilt für die Eigenschaften a bis c. Weiterhin wurde die Anpassungsgüte beim Einbezug weiterer Tätigkeiten wie Ziehen, Schieben, Werfen und Fangen untersucht (d). Schließlich wurde die Anpassungsgüte des BSG-Modells gegenüber dem Grundmodell geprüft. Im Folgenden werden die Ergebnisse bei Variation der einzelnen Eigenschaften (a-c) sowie bei Einbezug weiterer Tätigkeiten (d) diskutiert; für die Diskussion des BSG-Modells wird auf das Kapitel 7.1.3 verwiesen.

a) Variation der Druckkraftschwelle

In der Deutschen Wirbelsäulenstudie wurden je Geschlecht nur drei unterschiedliche Druckkraftschwellen untersucht: Zum einen die Druckkraftschwelle des MDD (von 3,2 kN bei Männern und 2,5 kN bei Frauen), zum zweiten eine reduzierte Druckkraftschwelle von 2,0 kN bei Männern wie Frauen und zum dritten diejenige (überwiegend sehr niedrige, aber in Abhängigkeit von der jeweiligen Tätigkeit veränderliche) Druckkraftschwelle, die mit der Handhabung von Lasten von etwa 5 kg verbunden ist. Da in der DWS allerdings keine isolierte Variation der Druckkraftschwellen bei sonst gleichen Eigenschaften eines

Dosismodells erfolgte, ließ die DWS keine spezifische Aussage zur Anpassungsgüte bei verschiedener Höhe der Druckkraftschwelle zu.

Bei einer schrittweisen Erhöhung der Druckkraftschwelle im Rahmen der vorliegenden Reanalyse ließ sich für jede der Fallgruppen 1 bis 3 eine Druckkraftschwelle identifizieren, bei deren Überschreitung (bei ansonsten unverändert vorliegenden Eigenschaften des Grundmodells) keine Dosismodelle mehr neu in die 95 %-Modellkonfidenzmenge aufgenommen werden (s. Tabelle 5.1.3-4). Für die Fallgruppe 1 (Männer mit Prolaps) liegt diese „höchste“ Druckkraftschwelle bei 5,0 kN. Das heißt: 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 $3\frac{1}{4}$ 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. Hinsichtlich der Unterscheidbarkeit zwischen „gut anpassenden“ und „schlecht anpassenden“ Dosismodellen bzw. des Unterscheidungsvermögens bei einer schrittweisen Erhöhung der Druckkraftschwelle wurden im Forschungsverbund der DWS-Richtwertstudie insbesondere zwei Aspekte diskutiert:

1. Aspekt der „Trennschärfe“ der Ergebnisse bei Erhöhung der Druckkraftschwelle
Die „Trennschärfe“ einer schrittweisen Erhöhung der Druckkraftschwelle (zwischen „gut anpassenden“ und „schlecht anpassenden“ Dosismodellen) ist für Fallgruppen 1 bis 3 als vergleichsweise gut anzusehen, denn es findet sich jeweils eine deutliche Verschlechterung der Modellgüte oberhalb der oben beschriebenen „höchsten“ Druckkraftschwellen.
2. Aspekt der „Differenzierungskraft“ der Ergebnisse bei Variation der Druckkraftschwelle:

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 Druckkraftschwellen, 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 Variation der Druckkraftschwelle ist darauf hinzuweisen, dass zwar die schrittweise Erhöhung der Druckkraftschwelle zu einer schrittweisen Reduzierung derjenigen Lastenhandhabungen führt, die in die Ermittlung der kumulativen Lebensdosis einbezogen werden. Allerdings werden in alle Dosismodelle – auch in die Dosismodelle mit hoher Druckkraftschwelle – jeweils alle Druckkräfte durch Körperhaltungen (ohne Lastenhandhabung) mit einer Rumpfvorneigung von 45° oder mehr einbezogen. Wenn also den Rumpfvorneigungen eine vergleichsweise hohe Bedeutung für das Bandscheiben-Erkrankungsrisiko zukommen sollte, könnte dies die geringe Differenzierungsvermögenkraft der (lastenhandhabungsbezogenen) Druckkraftschwellen zumindest teilweise erklären. Auf der Ergebnisgrundlage der DWS1 sind wir bereits früher (Seidler et al. 2009b) der Frage nachgegangen, ob sich die Bandscheiben-Erkrankungsrisiken eher durch Lastenhandhabungen oder eher durch Rumpfbeugehaltungen erklären. Wir konnten seinerzeit Hinweise darauf finden, dass Lastenhandhabungen eine besondere Bedeutung für die Entstehung von Chondrosen, Rumpfvorneigungen eine besondere Bedeutung für die Entstehung von Prolapserkrankungen zukommen könnte. Wenn einer derartigen differenziellen Bedeutung von Lastenhandhabungen für Chondrosen und Prolapse eine Erklärungskraft für die geringe „Differenzierungskraft“ der Druckkraftvariation zukommen sollte, würden wir eigentlich eine höhere Differenzierungskraft bei den Chondrosen (Fallgruppen 3 und 4) erwarten. Tatsächlich scheint die Differenzierungskraft bei Variation der Druckkraftschwelle (für Lastenhandhabungen) aufgrund der Reanalyse aber eher bei den Prolapserkrankungen größer zu sein. Es lässt sich festhalten, dass sich der Einbezug aller Druckkräfte durch Rumpfvorneigungen von 45° oder mehr in alle Dosismodelle mit Variation der Druckkraftschwelle (für Lastenhandhabungen) durchaus im Sinne einer geringen Differenzierungskraft zwischen den einzelnen Dosismodellen auszuwirken scheint. Für die besonders geringe Differenzierungskraft (heißt: die besonders weiten 95 %-Modellkonfidenzmengen) bei den Chondrosen konnte bisher keine plausible Erklärung gefunden werden. Bei der Bildung der AIC-gewichteten Mittelwerte der Druckkraftschwellen gesondert für die vier Fallgruppen ergaben sich jeweils eng beieinander liegende Mittelwerte für Männer (Fallgruppen 1 und 3) beziehungsweise für Frauen (Fallgruppen 2 und 4). Zur Vereinfachung des weiteren Vorgehens (und unter Ausschluss eines wesentlichen Verlustes an Modell-Anpassungsgüte) ergab sich für Männer eine Druckkraftschwelle von 3,2 kN, für Frauen eine Druckkraftschwelle von 2,5 kN. Diese Druckkraftschwellen entsprechen den Druckkraftschwellen des Mainz-Dortmunder Dosismodells und sind als Bestätigung der Druckkraftschwellen des MDD anzusehen. Die Ergebnisse der DWS-Reanalyse weisen somit insgesamt darauf hin, dass sich auf der Grundlage dieser Druckkraftschwellen eine gute Abbildung der Bandscheiben-Erkrankungsrisiken erzielen lässt. Einschränkend ist auf

die oben dargestellten Unsicherheiten bezüglich des Unterscheidungsvermögens (Trenn- (Trennschärfe/Differenzierungskraft) der Ergebnisse bei Variation der Druckkraftschwelle hinzuweisen. Die genannten Druckkraftschwellen gingen zusammen mit den abgeleiteten Schätzwerten für die Rumpfvorneigungsschwellen und für die Tagesdosissschwellen in die Definition der Referenzmodelle ein, die die Grundlage für die Bestimmung der Verdopplungsdosiswerte bildeten.

b) Variation der Rumpfvorneigungsschwelle

In der Deutschen Wirbelsäulenstudie wurden grundsätzlich dieselben Rumpfvorneigungsschwellen wie in der vorliegenden DWS-Reanalyse betrachtet: Rumpfvorneigungsschwellen von 20, 45, 75 und 90°. Der wesentliche Unterschied der Variation der Rumpfvorneigungsschwellen in der DWS1 zu dem Vorgehen in der DWS-Richtwertestudie liegt darin, dass in der DWS1 keine systematische Variation der Rumpfvorneigungsschwellen bei Konstanz der übrigen Modelleigenschaften erfolgte: So wurden für das Modell mit einer Druckkraftschwelle von 2,0 kN (dem als Ausgangspunkt für die Variation der Schwellenwerte in der DWS-Richtwertestudie fungierenden „Grundmodell“ Dosismodell 5) lediglich Rumpfvorneigungsschwellen von 45 und 75°, nicht aber Rumpfvorneigungsschwellen von 20 und 90° untersucht.

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.

An dieser Stelle ist zu berücksichtigen, dass die Bandscheibendruckkräfte für die Rumpfbeugen um 45, 75 und 90° hinsichtlich ihrer Höhe kaum zu differenzieren sind. So ergeben sich für 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 werden, ob eine Dosisberechnung, die ausschließlich auf Druckkraftwerten basiert, diesbezüglich eine Differenzierung bezüglich unterschiedlicher Rumpfbeugehaltungen zulässt. Letztlich geht aber der auf Rumpfbeugungen zurückzuführende Dosisanteil in die Dosiskumulation ein; er gibt

demzufolge dabei im Wesentlichen die Dauer von Rumpfvorneigungen oberhalb der jeweiligen Schwelle, nicht jedoch die Höhe des Rumpfvorneigungswinkels wieder.

Bei der Bildung der AIC-gewichteten Mittelwerte der Rumpfvorneigungsschwellen gesondert für die vier Fallgruppen ergab sich für die Fallgruppen 1 bis 3 ein Mittelwert 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 für die Tagesdosisschwellen in die Definition der Referenzmodelle ein, die die Grundlage für die Bestimmung der Verdopplungsdosiswerte bildeten.

c) Variation der Tagesdosisschwelle

In der Deutschen Wirbelsäulenstudie wurden neben dem Mainz-Dortmunder-Dosismodell (das eine Tagesdosisschwelle von 5,5 kNh für Männer und 3,5 kNh für Frauen voraussetzt) nur Dosismodelle untersucht, die entweder die MDD-Tagesdosisschwellen aufweisen oder auf eine Tagesdosisschwelle gänzlich verzichten. Bei einer schrittweisen Erhöhung der Tagesdosisschwelle von 0 kNh über 0,5 kNh, 1,0 kNh, 2,0 kNh, 3,0 kNh usw. bis auf 10,0 kNh – insgesamt wurden zehn verschiedene Schwellen geprüft – ließ sich für jede der untersuchten Fallgruppen (1 bis 4) eine Tagesdosisschwelle 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 Tagesdosisschwelle bei 5,0 kNh (s. Tabelle 5.1.3-4). Das heißt: Bei Festsetzung einer Tagesdosisschwelle 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 Tagesdosisschwelle 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. Die „Trennschärfe“ einer schrittweisen Erhöhung der Tagesdosisschwelle (zwischen „gut anpassenden“ und „schlecht anpassenden“ Dosismodellen) ist als vergleichsweise gut anzusehen, denn es findet sich jeweils eine deutliche Verschlechterung der Modellgüte oberhalb der genannten Tagesdosisschwellen.

Bei der Bildung der AIC-gewichteten Mittelwerte der Tagesdosisschwellen gesondert für die vier Fallgruppen ergaben sich jeweils um 2,0 kNh liegende Mittelwerte für Männer (Fallgruppen 1 und 3) beziehungsweise um 0,5 kNh liegende Mittelwerte für Frauen (Fallgruppen 2 und 4). Diese Tagesdosisschwellen gingen zusammen mit den genannten abgeleiteten Schätzwerten für die Druckkraftschwellen und die Rumpfvorneigungsschwellen in die Definition der Referenzmodelle ein, die die Grundlage für die Bestimmung der Verdopplungsdosiswerte bildeten.

Grundsätzlich gingen nicht nur Informationen der so definierten Referenzmodelle („300er Modelle“) in die Ableitung der Verdopplungsdosiswerte ein. In einem zweiten Mittelungsansatz wurden (wiederum AIC-gewichtet) die Informationen aller – innerhalb der 95 %-Modellkonfidenzmengen liegenden – Dosismodelle („100er“ und „200er“ Dosismodelle) auf das jeweilige fallgruppenspezifische Referenzmodell „umgerechnet“ und anschließend in die Ermittlung der fallgruppenspezifischen Verdopplungsdosiswerte einbezogen. Dies gilt für Druckkraftschwelle, Rumpfvorneigungsschwelle und Tagesdosisschwelle.

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

Der Einbezug bzw. fehlende Einbezug weiterer Tätigkeiten wie Ziehen, Schieben, Werfen oder Fangen hatte für die vier Fallgruppen keinen erkennbaren einheitlichen Einfluss auf die Modellgüte: Das Grundmodell mit Berücksichtigung weiterer Tätigkeiten lag in allen vier Fallgruppen mit dem Grundmodell ohne Berücksichtigung weiterer Tätigkeiten in einer gemeinsamen 95 %-Modellkonfidenzmenge. Dieses Ergebnis lässt allerdings keinesfalls den Schluss zu, dass weiteren Tätigkeiten wie Ziehen, Schieben, Werfen oder Fangen kein Risiko für bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule 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 diesbezüglichen Einzelbelastungen schlussfolgern, dass die vorliegende Fall-Kontroll-Studie keine hinreichende Power (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.

7.1.2 Diskussion der Ergebnisse zur Verdopplungsdosis

Die vorliegende Reanalyse der Daten der Deutschen Wirbelsäulenstudie schätzt diejenige kumulative Exposition ab, die (auf der Grundlage der beschriebenen Referenzmodelle) zu einer Verdopplung des Bandscheiben-Erkrankungsrisikos führt. Aufgrund der geringen Prävalenz der Zielerkrankungen in der Allgemeinbevölkerung sind die Odds Ratios der DWS bei Vernachlässigung von Effekten der zeitlichen Krankheitsvorverlagerung (Seidler et al. 2011) als gute Schätzwerte des relativen Erkrankungsrisikos zu werten. Im Ergebnis liegt das Verdopplungsrisiko bei einer kumulativen Dosis von etwa 7 MNh bei Männern (Schwellenwerte des zugrunde gelegten Dosismodells: Druckkraft 3,2 kN, Rumpfvorneigung 45°, Tagesdosis 2,0 kNh) und bei etwa 3 MNh bei Frauen (Schwellenwerte des zugrunde gelegten Dosismodells: Druckkraft 2,5 kN, Rumpfvorneigung 45°, Tagesdosis 0,5 kNh; s. Tabelle 5.1.4-1). 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 Schwellenwerte sind als Näherungen zur Darstellung der dem gesamten Datensatz und den angewandten komplexen Methoden innewohnenden Zufalls-Unsicherheit zu betrachten. Systematische Fehler werden naturgemäß durch Konfidenzintervalle nicht erfasst.

Sollten über diesen Zufallsfehler hinaus auch Fehlerquellen identifizierbar sein, die zu einer systematischen Über- oder Unterschätzung von Bandscheiben-Erkrankungsrisiken in der DWS 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. Es wird lediglich auf diejenigen Verzerrungseinflüsse eingegangen, denen eine besondere Bedeutung für die vorliegenden Ergebnisse der DWS-Richtwertestudie zukommen könnte. Für eine grundlegende Diskussion von möglichen Verzerrungseinflüssen in der Deutschen Wirbelsäulenstudie wird auf den DWS-Abschlussbericht sowie auf die diesbezüglichen nationalen und internationalen Veröffentlichungen zur DWS verwiesen.

a) Selektionseinflüsse („Selektions-Bias“)

Grundsätzlich erscheint bei einer Teilnahmerate 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 (Bolm-Audorff et al. 2007a, b, Seidler et al. 2007, Seidler et al. 2009b). Die von uns im Rahmen der kategorisierten Auswertung der DWS beschriebene Risikoabschwächung bei hohen

körperlichen Belastungen (Bolm-Audorff et al. 2007a,b, Seidler et al. 2007, Seidler et al. 2009b) wurde von uns als möglicher 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. (2001) 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 drückte sich in der kategorisierten Auswertung der DWS1 in relativ geringen Odds Ratios in den „Hochdosiskategorien“ aus; in der vorliegenden Auswertung auf der Grundlage der kontinuierlichen Variablen drückt sich diese Risikoabnahme in einem deutlichen Effektabfall („Rechtskurve“) nach vormaligem deutlichen Anstieg der Dosis-Wirkungs-Funktion aus. 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.

b) Verzerrung der Expositionsabschätzung („Informations-Bias“)

Das sehr aufwändige Verfahren der Belastungsermittlung in der DWS 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; siehe Tabelle 7.1.2-1), die eine a priori definierte Auslöseschwelle überschritten hatten (siehe Bolm-Audorff et al. 2007a).

Für die „gering belasteten“ Probanden (14 % der männlichen, 11 % der weiblichen Fälle sowie 10 % der männlichen und 11 % der weiblichen Kontrollpersonen) wurde die Gesamtdosis als Produkt aus der durchschnittlichen geschlechtsspezifischen Jahresdosis einer Zufallsstichprobe „gering belasteter“ Kontrollpersonen und der Zahl der Arbeitsjahre gebildet. Die Zufallsstichprobe, die einer individuellen Belastungsermittlung durch Technische Aufsichtsdienste unterzogen wurde, betrug 10 % der „gering belasteten“ Kontrollpersonen. Ausgehend von dem Referenzdosismodell für Männer (Druckkraftschwelle 3,2 kN, Rumpfvorneigungsschwelle 45°, Tagesdosischwelle 2,0 kNh) wurde bei allen „gering belasteten“ Männern eine Jahresdosis von 0,163 MNh zugrunde gelegt. Wenn also ein Mann über mehr als 40 Jahre „gering belastet“ tätig war, konnte er die Verdopplungsdosis von etwa 7 MNh erreichen: Tatsächlich erreichten 29 der 107 „gering belasteten“ Männer eine

Lebensdosis von 6 MNh oder mehr; die maximale Lebensdosis bei den „gering belasteten“ Männern liegt bei 7,8 MNh. Ausgehend von dem Referenzdosismodell für Frauen (Druckkraftschwelle 2,5 kN, Rumpfvorneigungsschwelle 45°, Tagesdosisschwelle 0,5 kN) wurde bei der Ermittlung der Lebensdosis bei allen „gering belasteten“ Frauen eine Jahresdosis von 0,076 MNh zugrunde gelegt. Wenn also eine Frau über etwa 40 Jahre „gering belastet“ tätig war, konnte sie die Verdopplungsdosis von etwa 3 MNh erreichen: Tatsächlich erreichten 35 der 101 „gering belasteten“ Frauen eine Lebensdosis von 3 MNh oder mehr; die maximale Lebensdosis bei den „gering belasteten“ Frauen liegt bei 3,8 MNh.

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 (auf der Grundlage des Erstinterviews) „nicht belasteter“ Kontrollgruppen beträgt für Männer wie für Frauen 0 MNh (zur Erklärung des Verfahrens siehe Kap. 4.1.3.2).

Tabelle 7.1.2-1: Anteil der Fälle und Kontrollen mit abgeschätzten Dosiswerten (für „nicht belastete“ und „gering belastete“ Probanden) und individuell ermittelten Dosiswerten (für Probanden mit Überschreitung einer definierten Auslöseschwelle)

	Männer		Frauen		Gesamt	
	Fälle	Kontrollen	Fälle	Kontrollen	Fälle	Kontrollen
nicht belastet: n (%)	51 (11,8 %)	103 (22,7 %)	118 (24,4 %)	186 (41,5 %)	169 (18,5 %)	289 (32,1 %)
gering belastet: n (%)	43 (10,0 %)	64 (14,1 %)	52 (10,7 %)	49 (10,9 %)	95 (10,4 %)	113 (12,5 %)
mit Überschreitung der Auslöseschwelle: n (%)	337 (78,2 %)	286 (63,1 %)	314 (64,9 %)	213 (47,5 %)	651 (71,1 %)	499 (55,4 %)

Die Zufallsstichprobe, die einer individuellen Belastungsermittlung durch Technische Aufsichtsdienste unterzogen wurde, umfasste neben den 17 (auf der Grundlage des Erstinterviews) „nicht belasteten“ Kontrollpersonen 27 (auf der Grundlage des Erstinterviews) „gering belastete“ Kontrollpersonen. 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 „gering belasteten“ Probanden ohne individuelle Belastungsermittlung einen Einfluss auf die Ableitung der Verdopplungsdosis hatte. Es lässt sich aber 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.

c) Confounding

Die vorliegenden Auswertungen der DWS-Richtwertestudie bezogen grundsätzlich Alter (als kategorisierte Variable) und Studienzentrum als Confounder in die logistischen Regressionsmodelle ein. Die Variablen Alter und Studienzentrum werden im Folgenden als „Grundconfounder“ bezeichnet. Demgegenüber wurden die Berechnungen in der DWS1 mit

zwei unterschiedlichen Confoundersätzen, den „Basisconfoundern“ (zur Berechnung der AIC-Werte) und den „finalen Confoundern“ (zur Berechnung der Odds Ratios), durchgeführt. Im Folgenden soll die Entscheidung für eine Beschränkung auf die „Grundconfounder“ Alter und Studienzentrum in der DWS-Richtwertestudie begründet und in ihren Auswirkungen auf die Risikoschätzer diskutiert werden. Dabei soll die Diskussion insbesondere auf die Frage eingehen, wie hoch der Einfluss „unberücksichtigter“ Confounder auf die präsentierten Ergebnisse einzuschätzen ist.

In der Deutschen Wirbelsäulenstudie wurden zunächst aus einer Liste inhaltlich plausibler potenzieller Confounder alle Variablen in das logistische Modell aufgenommen („Basisconfounder“), die eine Assoziation mit den Lebensdosiswerten gemäß Dosismodell 1 (MDD) oder 4 (dem Dosismodell mit den niedrigsten Schwellenwerten) aufwiesen; für weitere Ausführungen siehe Bolm-Audorff et al. 2007a, S. 134f. Die entsprechenden Basisconfounder wurden in der Deutschen Wirbelsäulenstudie bei der Berechnung der Anpassungsgüte mittels AIC-Werten in die logistischen Regressionsmodelle einbezogen. Anschließend wurde für die (in der DWS) „besten“ Dosismodelle mittels „Change-in-estimate“-Kriterium über den Verbleib der Basisconfounder in den finalen Modellen entschieden. Da gemäß diesem Kriterium kein Basisconfounder einen nennenswerten Einfluss auf die Höhe der Effektschätzer (ausgedrückt durch die Odds Ratios) aufwies, wurde auch kein Basisconfounder in die „finalen“ Modelle der DWS1 aufgenommen. Somit ergibt sich kein inhaltlich überzeugender Grund dafür, Variablen aus dem Set der Basisconfounder in der DWS-Richtwertestudie als Confounder zu berücksichtigen.

In der Deutschen Wirbelsäulenstudie wurden anschließend getrennt für die einzelnen Fallgruppen diejenigen Variablen aus einer a priori festgelegten Liste (siehe Bolm-Audorff et al. 2007a, S. 141) als „finale Confounder“ in die logistischen Regressionsmodelle aufgenommen, die eine Veränderung der Odds Ratios 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 (das heißt: auf dem Kausalpfad zwischen körperlichen Belastungen und Bandscheibenerkrankungen liegenden) Faktoren adjustiert. Daraus würde eine Überadjustierung resultieren. Um die genannte Gefahr einer Überadjustierung zu vermeiden, wurde bei den Kernaussagen der DWS-Richtwertestudie auf eine Adjustierung für die

genannten „finalen Confounder“ der DWS1 - „Belastung durch Verlust des Arbeitsplatzes/Kündigung“ und „psychosoziale Belastungen am Arbeitsplatz“ - verzichtet. Als Vorteil dieses Verfahrens ist darauf hinzuweisen, dass sich mit dem Verzicht auf unnötige (oder sogar problematische) Adjustierungsvariablen prinzipiell eine größere Stabilität der Modellierungen erreichen lässt.

Als methodischer Vorteil der Deutschen Wirbelsäulenstudie ist auf die Berücksichtigung einer großen Zahl potenzieller Confounder hinzuweisen. So wurden im Rahmen der DWS 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 („Ballsport“): 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 Lendenwirbelsäule (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 einhergehen könnte bei fehlender Adjustierung für die Pflege von Angehörigen eine Unterschätzung des beruflichen Risikos. 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. Damit einhergehen könnte bei fehlender Adjustierung für die Pflege von Angehörigen eine Überschätzung des beruflichen Risikos. Insgesamt lässt sich also nicht beurteilen, ob mit der fehlenden Adjustierung für die Pflege von Angehörigen eine Ergebnisverzerrung einhergeht und ob diese eventuelle Ergebnisverzerrung eher zu einer Über- oder Unterschätzung der beruflichen Risiken tendiert.

Insgesamt lassen sich keine systematischen Verzerrungen erkennen, denen ein hoher Einfluss auf die vorliegenden Ergebnisse einzuräumen wäre. Ein Vergleich unserer Ergebnisse mit anderen Studienergebnissen steht vor der Schwierigkeit, dass eine vergleichbar umfassende Modellierung der Dosis-Wirkungs-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 Bandscheiben-Erkrankungsrisiken aufzeigen lassen, steht im Einklang mit den Ergebnissen der „Frankfurter Studie“ (Seidler et al. 2001b, Seidler et al. 2003). Die meisten diesbezüglichen Studien analysieren den Zusammenhang zwischen selbst eingeschätzten körperlichen Belastungen und Bandscheibenerkrankungen; in Studien mit retrospektiver Expositionserhebung (insbesondere Fallkontrollstudien) kann dies zu einer differenziellen Fehlklassifikation der Exposition führen. In der „Frankfurter Studie“ – ebenfalls einer Fallkontrollstudie – 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 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 ein Odds Ratio von 3,0 (95 %-Konfidenzintervall 1,5 - 6,0; siehe Seidler et al. 2003, 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.

Eine kürzlich veröffentlichte Kohortenstudie (Sørensen et al. 2011) bezieht 5.245 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 bis 2003 werden bei den Kohortenmitgliedern die Krankenhausaufenthalte wegen einer Prolapserkrankung 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 = 1.186). Als Vergleichsgruppe werden diejenigen Männer einbezogen (n = 2.328), 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, so dass die Beeinflussung der Expositionsangaben durch Krankheitssymptome nahezu ausgeschlossen werden kann. Es ist darauf hinzuweisen, dass auch in der beschriebenen Studie (Sørensen et al. 2011) ein hoher Anteil der Probanden (38 %) einer körperlichen Belastung ausgesetzt war, die mit einem deutlich erhöhten, teilweise das „Verdopplungsrisiko“ überschreitenden Prolapsrisiko verbunden war.

Insgesamt findet die vorliegende vertiefende Auswertung der Deutschen Wirbelsäulenstudie bereits bei relativ niedrigen beruflichen Belastungen (kumulative Lebensdosis basierend auf den oben beschriebenen geschlechtsspezifischen „Referenzmodellen“ 7 MNh bei Männern, 3 MNh bei Frauen) ein auf das Doppelte erhöhtes Bandscheiben-Erkrankungsrisiko. Die Abschätzung des Verdopplungsrisikos ist mit Unsicherheiten verbunden, allerdings lassen sich keine Hinweise auf wesentliche systematische Verzerrungen der Studienergebnisse finden.

7.1.3 Anpassungsgüte des „BSG-Modells“ und Bewertung der Ergebnisse vor dem Hintergrund des Berufskrankheitenrechts

1. Eigenschaften des „BSG-Modells“

Im Rahmen der DWS-Richtwertestudie war a priori – heißt bereits im ursprünglichen Projektantrag – festgelegt worden, im Rahmen der Variation verschiedener Eigenschaften des Mainz-Dortmunder Dosismodells auch das vom Bundessozialgericht in seinem Urteil vom 30.10.2007 (AZ: B 2 U 4/06 R) formulierte Verfahren auf seine Anpassungsgüte hin zu untersuchen. Diesbezüglich ist darauf hinzuweisen, dass sich das genannte BSG-Urteil auf einen männlichen Kläger bezieht; daher wird die Anpassungsgüte des „BSG-Modells“ in der DWS-Richtwertestudie lediglich für Prolapserkrankungen und Chondrosen bei Männern untersucht. Das BSG-Urteil begründet die Absenkung von Schwellenwerten in seinem Urteil

vom 30.10.2007 wesentlich mit den Ergebnissen der Deutschen Wirbelsäulenstudie. Die DWS habe gezeigt, „dass mehrere der geprüften Modelle an sich besser geeignet sind als das MDD, um Dosis-Wirkungs-Beziehungen bei Bandscheibenbedingten Wirbelsäulenerkrankungen abzubilden. Danach zeichnen sich die am besten angepassten Modelle dadurch aus, dass die Schwellenwerte für die Bandscheibendruckkraft bei Lastenhandhabung und für die Rumpfvorneigung im Vergleich zum MDD abgesenkt sind, dass auf die Einführung eines Schwellenwertes für die Tagesdosis verzichtet wird und dass neben dem Heben und Tragen zusätzliche Formen der Lastenhandhabung wie Ziehen, Schieben, Werfen und Fangen von Lasten berücksichtigt werden.“

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

1. eine Absenkung der Druckkraftschwelle des MDD von 3,2 kN auf 2,7 kN,
2. der Verzicht auf eine Tagesdosisschwelle,
3. die Halbierung der Lebensdosisschwelle von 25 MNh auf 12,5 MNh.
4. Nicht-Einbezug von Einwirkungen wie Ziehen/Schieben, Fangen/Werfen usw.

Zu 1.: 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 Deutschen Wirbelsäulenstudie. 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 2.700 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.

Zu 2: 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 5.500 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).

Zu 3. Die Halbierung der Lebensdosisschwelle wird vom BSG ebenfalls mit den Ergebnissen der DWS begründet, die eine „deutliche Reduzierung der maßgebenden Mindestbelastungsdosis“ erforderlich machten (RdNr. 27 der Urteilsbegründung).

2. Diskussion der Anpassungsgüte des BSG-Modells (bei Männern)

Das „BSG-Modell“ lässt sich in der im Urteil vom 30.10.2007 formulierten Form ausschließlich auf Männer anwenden, da nur für Männer die entsprechenden Schwellen definiert sind (Druckkraftschwelle von 2,7 kN, Rumpfvorneigungsschwelle von 90°, Tagesdosisschwelle von 0 kNh, Lebensdosisschwelle von 12,5 MNh). Beim Vergleich des BSG-Modells mit dem in der DWS-Richtwertestudie verwendeten Grundmodell (Druckkraftschwelle von 2,0 kN, Rumpfvorneigungsschwelle von 45°, Tagesdosisschwelle von 0 kNh) zeigte sich für die Fallgruppe 1 (Männer mit Prolaps) eine schlechtere Modellanpassung: Das BSG-Modell lag außerhalb der 95 %-Modellkonfidenzmenge (Tabelle 5.1.3.2).

Demgegenüber zeigte sich beim Vergleich des BSG-Modells mit dem Grundmodell (und auch mit dem Referenzdosismodell der DWS-Richtwertestudie: Druckkraftschwelle von 3,2 kN, Rumpfvorneigungsschwelle von 45°, Tagesdosisschwelle von 2,0 kNh) für die Fallgruppe 3 (Männer mit Chondrose) ein nominal sogar etwas niedrigerer AIC-Wert (Tabelle 5.1.3.2). Das BSG-Modell passt für die Fallgruppe 3 formal sogar etwas besser an als das Referenzdosismodell (Tabelle 5.1.3-14). Die berufsbezogenen Risiken für Prolapserkrankungen bei Männern lassen sich mit dem BSG-Modell (Druckkraftschwelle von 2,7 kN, Rumpfvorneigungsschwelle von 90°, Tagesdosisschwelle von 0 kNh) also schlechter abbilden als mit dem Referenzmodell (Druckkraftschwelle von 3,2 kN, Rumpfvorneigungsschwelle von 45°, Tagesdosisschwelle von 2,0 kNh), die berufsbezogenen Risiken für Chondrosen etwa genauso gut.

Tabelle 7.1.3-1: Odds Ratios bei Erreichen/Überschreiten eines Lebensdosiswertes von 12,5 MNh gemäß BSG-Modell (Männer mit Prolaps einzeln und kombiniert)

Gesamtdosis	F	%	K	%	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 ⁶ Nh	199	46,2	228	50,3	1,8 (1,3-2,6)
≥ 12,5 * 10⁶ Nh	160	37,1	92	20,3	3,2 (2,2-4,8)
<i>b) Männer mit Prolaps (Fallgruppe 1)</i>					
0 Nh	47	16,4	133	29,4	1,0 -
> 0, < 12,5 * 10 ⁶ Nh	135	47,2	228	50,3	1,8 (1,2-2,7)
≥ 12,5 * 10⁶ Nh	104	36,4	92	20,3	3,2 (2,0-5,0)
<i>c) Männer mit Chondrose (Fallgruppe 3)</i>					
0 Nh	25	17,2	133	29,4	1,0 -
> 0, < 12,5 * 10 ⁶ Nh	64	44,1	228	50,3	2,0 (1,2-3,4)
≥ 12,5 * 10⁶ Nh	56	38,6	92	20,3	3,3 (1,8-5,9)

F = Fälle, K = Kontrollen, adjustierte OR = für Alter und Region adjustierte Odds Ratio, 95 %-CI = 95 %-Konfidenzintervall

Für Männer, die den Lebensdosis-Wert von 12,5 MNh gemäß BSG-Modell erreichen oder überschreiten, ergibt sich ein Odds Ratio von 3,2 (95 %-Konfidenzintervall 2,2 - 4,8) für Prolapserkrankungen oder Chondrosen (Referenzgruppe: Männer mit einem Lebensdosis-Wert von 0 MNh gemäß BSG-Modell, Tabelle 7.1.3-1, a). Bei gesonderter Betrachtung von Prolapsen und Chondrosen sind die Ergebnisse ähnlich (Tabelle 7.1.3-1, b und c).

Insgesamt hat das Bundessozialgericht 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 DWS zum Erfordernis abgesenkter Schwellenwerte als auch die rechtlich vorgegebenen Kriterien der Legaldefinition berücksichtigt. Naturgemäß sind die Eigenschaften des „BSG-Modells“ (Druckkraftschwelle von 2,7 kN bei Männern, Rumpfvorneigungsschwelle von 90°, Verzicht auf Tagesdosisschwelle, unterer Grenzwert von 12,5 MNh für die Gesamtbelastungsdosis bei Männern) als Setzungen und nicht als streng wissenschaftliche Ableitungen zu verstehen.

Im Forschungsverbund der DWS-Richtwertestudie wurden zwei Positionen zur Beurteilung des BSG-Modells diskutiert: Für eine Position erscheint dieses Modell nach dem in der Studie konsentierten Methodenkanon empirisch durchaus als vertretbar. Für eine andere Position beschreibt es aufgrund der schlechten Anpassungsgüte bei Fallgruppe 1 den Dosis-

Wirkungs-Zusammenhang zwischen arbeitsbedingten kumulativen Bandscheibenbelastungen und der Ausbildung eines Prolapses in nicht ausreichendem Maße und kann daher nicht empfohlen werden¹⁷.

3. Ergebnisse der DWS-Richtwertestudie vor dem Hintergrund der Legaldefinition der Berufskrankheit Nr. 2108

Die vertiefende Reanalyse der DWS im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes hat die Entwicklung geeigneter Richtwerte für die Anerkennungspraxis der Berufskrankheit Nr. 2108 BKV zum Ziel. Dementsprechend wurde auch bereits im ursprünglichen Antrag darauf hingewiesen, dass sich „die Relevanz des beantragten Projektes ... aus der Häufigkeit der Verdachtsanzeigen bezüglich des Vorliegens einer Berufskrankheit 2108“ ergebe.

Auf zwei grundsätzliche Probleme bei der Umsetzung der Studienergebnisse in der BK-Anerkennungspraxis ist hinzuweisen:

1. Die Legaldefinition der Berufskrankheit Nr. 2108 BKV lautet: „Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjähriges 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 DWS und der „geltenden Legaldefinition“ unterscheidet. So weist das BSG darauf hin, dass die (in der DWS) am besten angepassten 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 Berufskrankheit Nr. 2108 BKV verneint und stattdessen eine höhere Rumpfvorneigungsschwelle in der BK-Anerkennungspraxis für erforderlich gehalten, dann ließen sich auch die „konsekutiven“ Lebensdosisschwellen auf Basis unseres Referenzdosismodells nicht

¹⁷ Das BSG-Modell wurde für Männer konzipiert. Zur Verdeutlichung der Konsequenzen einer Anwendung des BSG-Modells auch für Frauen wurden die AIC-Werte in den Tabellen 5.1.3-2 und 5.1.3-4 auch für Frauen berechnet. Im Ergebnis liegt das BSG-Modell bei Frauen mit Prolaps (FG2) außerhalb der 95 %-Modellkonfidenzmenge, bei Frauen mit Chondrose (FG4) innerhalb.

aufrecht erhalten. 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.

2. Der unmittelbare Einsatz der abgeleiteten Verdopplungsdosiswerte im Berufskrankheiten-Verfahren würde gemäß siebtem Sozialgesetzbuch voraussetzen, dass diese Verdopplungsdosis-Werte „besondere Einwirkungen“ beschreiben, denen bestimmte Personengruppen in erheblich höherem Grade als die übrige Bevölkerung ausgesetzt sind. Plausibel erscheint es, dass es sich dann nicht um „besondere Einwirkungen“ bestimmter Personengruppen handeln kann, wenn mehr als die Hälfte der Bevölkerung von einer in Frage stehenden Einwirkung betroffen ist. Die vorgenannten Überlegungen machen jedenfalls deutlich, dass die Häufigkeit einer potenziell risikobehafteten Exposition in der allgemeinen Bevölkerung zu berücksichtigen ist, wenn es um die Definition „besonderer Einwirkungen“ geht, d. h. um die Definition eines geeigneten Richtwertes zur Ermittlung einer gefährdenden Tätigkeit. Inwieweit Expositionsprävalenzen von teilweise über 30 % noch mit dem Vorliegen „besonderer Einwirkungen“ vereinbar sind, ist eine sozialpolitische und juristische Frage, die statistisch-epidemiologisch nicht beantwortet werden kann (s. dazu Kapitel 7.1.4).

Mit Bezug auf die dargestellten Probleme bei der sozialgesetzlichen Umsetzung der Studienergebnisse der DWS-Richtwertestudie ist darauf hinzuweisen, dass die Festsetzung konkreter Richtwerte definitiv nicht Bestandteil des Projektes ist (und naturgemäß auch nicht sein kann). Neben den von uns dargestellten statistisch-epidemiologischen Erkenntnissen müssen in die Entwicklung geeigneter Richtwerte auch Aspekte der biologischen Plausibilität, der praktischen Handhabbarkeit, der Existenz geeigneter „Messinstrumente“ einbezogen werden. Diese Aspekte sollten im Anschluss an das Projekt unter Einbindung relevanter Fachvertreter und Anwender (z. B. Arbeitstechniker, Arbeitsphysiologen, Arbeitsmediziner, Epidemiologen) wissenschaftsbasiert, transparent und nachvollziehbar diskutiert und umgesetzt werden. Eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz versprechen Verfahren, die in der Entwicklung evidenzbasierter Leitlinien erprobt sind (z. B. der nominale Gruppenprozess). Die Autoren und Autorinnen dieses Berichts sagen für diesen Prozess der Entwicklung geeigneter Richtwerte ihre Unterstützung zu.

7.1.4 Auswirkungen einer Erhöhung der Lebensdosischwelle auf die Expositionsprävalenz, das bevölkerungsbezogene attributable

Risiko und auf die Abschätzung des relativen Bandscheiben-Erkrankungsrisikos

Die dargestellte Reanalyse der Deutschen Wirbelsäulenstudie leitet Verdopplungsdosis-Werte von etwa 7 MNh bei Männern (bezogen auf ein Referenzmodell mit Schwellen von 3,2 kN für die Druckkraft, 45° für die Rumpfvorneigung und 2,0 kNh für die Tagesdosis) sowie von etwa 3 MNh bei Frauen (bezogen auf ein Referenzmodell mit Schwellen von 2,5 kN für die Druckkraft, 45° für die Rumpfvorneigung und 0,5 kNh für die Tagesdosis) ab. Die genannten Werte stellen bei Ausnutzung aller in der DWS enthaltenen Informationen die bestmöglichen Punktschätzer der Verdopplungsdosis für Männer bzw. Frauen dar und werden daher als „Best Estimates“ angesehen. Es wird darauf hingewiesen, dass die im Folgenden beschriebene explorative Analyse auf Kollektiven basiert, die aus der geschlechtsspezifischen Zusammenlegung aller Fälle (d. h. Prolaps und Chondrose) resultiert; diese Vorgehensweise differiert von den bisherigen Analysen der DWS-Richtwertestudie. Bei gesonderter Auswertung (Prolaps und Chondrose, siehe Anhang Tabelle 14-47a, b) bestätigen sich die Auswertungen im Grundsatz.

Die Ableitung von Richtwerten zur Ermittlung der arbeitstechnischen Voraussetzungen für die BK Nr. 2108 BKV aus den genannten Ergebnissen der DWS-Richtwertestudie steht allerdings vor zwei wesentlichen Problemen:

1. Es ist unklar, inwieweit Expositionsprävalenzen¹⁸ von 35 bis knapp 40 % in der allgemeinen 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 siebten Sozialgesetzbuch vereinbar sind (zur Erklärung siehe Kap. 7.1.3).
2. Den mit den oben beschriebenen Methoden ermittelten Verdopplungsdosis-Werten 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.

¹⁸ In den nachfolgenden Tabellen lassen sich prozentuale Anteile der Kontrollpersonen in den einzelnen Expositions-kategorien als Schätzwerte der Expositionsprävalenzen in der allgemeinen Bevölkerung verstehen.

Zu 1.:

Der erste Punkt wird durch die Tabellen 7.1.4-1 und 7.1.4-3 illustriert: 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 folgenden explorativen Analyse sollen die Folgen einer solchen Schwellenwert-Erhöhung auf die Schätzwerte (Odds Ratios) der relativen Bandscheiben-Erkrankungs-risiken getrennt für Männer und Frauen betrachtet werden.

Zu 2.:

Grundsätzlich würde eine Erhöhung der Lebensdosissschwelle bei der Ermittlung der arbeitstechnischen Voraussetzungen die Wahrscheinlichkeit „falsch positiver“ Befunde verringern, anders ausgedrückt: Eine Erhöhung der Lebensdosissschwelle bei der Ermittlung der arbeitstechnischen Voraussetzungen würde 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 Lebensdosissschwelle ebenfalls die „Sensitivität“ einer Bejahung des Ursachenzusammenhangs verringern, anders ausgedrückt: Eine Erhöhung der Lebensdosissschwelle 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 Bandscheibenerkrankungen 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 oben beschriebene explorative Analyse auch bezüglich des letztgenannten Kriteriums Schlüsse zu. Sensitivität und Spezifität werden üblicherweise verwendet, um einen Zusammenhang von Expositionen und Vorkommen von Erkrankungen zu beschreiben. Sie werden hier benutzt, um den Zusammenhang zwischen Expositionen und beruflich verursachten Erkrankungen zu beschreiben, woraus sich Limitationen ergeben (Suzuki et al. 2012, Rothman et al. 2008).

Zum Vorgehen bei der schrittweisen Erhöhung der Lebensdosissschwellen

Die Bestimmung der Risikoschätzer für (gegenüber den „Best Estimates“) erhöhte Lebens-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 geschlechtsspezifische Quintile¹⁹ der Verteilung derjenigen Kontrollprobanden gebildet, die die geschlechtsspezifische Lebensdosis von 7 bzw. 3 MNh überschreiten (mit Rundung auf ganze oder halbe MNh-Zahlenwerte). Bei den Männern werden demzufolge folgende Lebensdosisschwellen untersucht: 7, 10, 18, 30 und 56 MNh. Bei den Frauen werden folgende Lebensdosisschwellen untersucht: 3, 4 ½, 8 ½, 14 und 24 ½ MNh. Angegeben werden für die „Belastungsgruppen“ oberhalb der jeweiligen Schwellen Odds Ratios sowie populationsspezifische attributable Risiken (PAR²⁰) in Bezug auf die Probanden mit einer Lebensdosis von Null. Es wird daraufhin gewiesen, dass die PAR als Illustration verwendet werden und auf die Allgemeinbevölkerung bezogen sind, während BK-Fragen sich auf die Exponierten beschränken. Daraus ergeben sich gewisse Limitationen (Suzuki et al. 2012, Rothman et al. 2008). Es wird zudem darauf hingewiesen, dass die BK-Entscheidung binär ist; im Folgenden werden jedoch – wie in epidemiologischen Studien üblich – in die Referenzkategorie lediglich nicht Exponierte aufgenommen.

Zu den Ergebnissen der schrittweisen Erhöhung der Lebensdosisschwellen

Im Ergebnis findet sich bei Erhöhung der Lebensdosisschwelle von 7 auf 10 MNh (Tabelle 7.1.4-1, Abschnitt b) auf der Datengrundlage des „Dortmunders“ eine Odds Ratio von 3,2 (95 %-Konfidenzintervall 2,2 - 4,6). Für Männer mit einer Lebensdosis zwischen 7 und 10 MNh gemäß Referenzdosismodell findet sich in derselben Auswertung (Tabelle 7.1.4-1, Abschnitt b) ein Odds Ratio von 2,1 (95 %-Konfidenzintervall 1,2 - 3,7). Der Punktschätzer von 2,1 weist darauf hin, dass in diesem Bereich zwischen 7 und 10 MNh zumindest ein Teil der Probanden das „Verdopplungsrisiko“ überschreiten dürfte. Würde der Lebensdosiswert von 10 MNh als Schätzwert des Verdopplungsrisikos gewählt, so würde damit die „Spezifität“ der Feststellung einer Überschreitung des Verdopplungsrisikos erhöht; gleichzeitig würde aber auch die „Sensitivität“ dieser Feststellung abnehmen. Bei Erhöhung der Lebensdosisschwelle auf 18 MNh (Tabelle 7.1.4-1, Abschnitt c) findet sich im Bereich

¹⁹ Eine noch feinere Unterteilung würde zu sehr kleinen Felderbelegungen führen.

²⁰ Die PAR wurden mit der folgenden Formel berechnet: $PAR = P(E \setminus D) * ((OR - 1) / OR)$, dabei stellt $P(E \setminus D)$ den Anteil der exponierten Fälle dar. Literatur: Coughlin SS, Benichou J, Weed DL. Attributable risk estimation in case-control studies. *Epidemiol Rev* 1994;16:51-64.

zwischen 10 und 18 MNh bereits ein Odds Ratio von 2,9; dabei liegt die untere Grenze des 95 %-Konfidenzintervalls (1,7 - 5,0) nahe bei der 2. Insbesondere wegen der Überschreitung der Verdopplungsdosis bereits in der nächst niedrigeren Dosisgruppe (7 bis 10 MNh) erscheint die Abschätzung des Verdopplungsrisikos mit einem Wert höher 10 MNh mit den dargestellten Auswertungen wissenschaftlich nicht vereinbar.

Würde ein Wert von 10 MNh als Schätzwert des Verdopplungsrisikos gewählt (Tabelle 7.1.4-1, Abschnitt b), so würden immer noch 31 % der allgemeinen männlichen Bevölkerung die „Verdopplungsdosis“ überschreiten. Das PAR von 4 % für die Männer im Lebensdosisbereich zwischen 7 und 10 MNh besagt, dass schätzungsweise 4 % der Bandscheiben-Erkrankungsfälle in der Bevölkerung „tatsächlich“ ursächlich auf eine Exposition in diesem Dosisbereich zurückzuführen sind. Der mit einer Erhöhung der Lebensdosischwelle von 7 auf 10 MNh verbundene Verlust an „Sensitivität“ bezüglich der Identifizierung „tatsächlich“ berufsbedingter Bandscheibenerkrankungen erscheint somit als relativ gering.

Wird die dargestellte Analyse auf der Datengrundlage der Bestimmungsgleichungen durchgeführt, so bestätigen sich die genannten Ergebnisse grundsätzlich (Tabelle 7.1.4-2). Mit der Datengrundlage der Bestimmungsgleichungen ist das Odds Ratio im Lebensdosisbereich zwischen 7 und 10 MNh mit 1,7 (95 %-Konfidenzintervall 1,0 - 3,1) etwas niedriger (Tabelle 7.1.4-2, Abschnitt b) als auf der Datengrundlage des „Dortmunders“ (Tabelle 7.1.4-1, Abschnitt b)).

Tabelle 7.1.4-1: Häufigkeit der Überschreitung einer Gesamtdosis von 7, 10, 18, 30 und 56 MNh bei Männern (ausgehend von dem Referenzdosismodell mit der Datengrundlage des „Dortmunders“) mit Angabe der Odds Ratios für Prolaps und Chondrose kombiniert (Fallgruppen 1 und 3). (F = Fälle, K = Kontrollen, adjustierte OR = für Alter und Region adjustierte Odds Ratios, 95%-CI = 95 %-Konfidenzintervall)

Gesamtdosis	F	%	K	%	Adjustierte OR (95%-CI)	PAR
<i>a) Erreichen/Überschreiten der abgeschätzten „Verdopplungsdosis“ (7 MNh) versus Lebensdosis von 0 MNh</i>						
0 Nh	76	17,6	143	31,6	1,0 -	-
>0, <7 * 10 ⁶ Nh	91	21,1	138	30,5	1,4 (0,9-2,1)	6%
≥7 * 10⁶ Nh	264	61,3	172	38,0	3,0 (2,1-4,2)	41%
<i>b) Erreichen/Überschreiten von 10 MNh versus Lebensdosis von 0 MNh</i>						
0 Nh	76	17,6	143	31,6	1,0 -	-
>0, <7 * 10 ⁶ Nh	91	21,1	138	30,5	1,4 (0,9-2,1)	6%
≥7, <10 * 10 ⁶ Nh	35	8,1	32	7,1	2,1 (1,2-3,7)	4%
≥10 * 10⁶ Nh	229	53,1	140	30,9	3,2 (2,2-4,6)	37%
<i>c) Erreichen/Überschreiten von 18 MNh versus Lebensdosis von 0 MNh</i>						
0 Nh	76	17,6	143	31,6	1,0 -	-
>0, <7 * 10 ⁶ Nh	91	21,1	138	30,5	1,4 (1,0-2,1)	6%
≥7, <10 * 10 ⁶ Nh	35	8,1	32	7,1	2,1 (1,2-3,7)	4%
≥10, <18 * 10 ⁶ Nh	51	11,8	37	8,2	2,9 (1,7-5,0)	8%
≥18 * 10⁶ Nh	178	41,3	103	22,7	3,3 (2,2-4,8)	29%
<i>d) Erreichen/Überschreiten von 30 MNh versus Lebensdosis von 0 MNh</i>						
0 Nh	76	17,6	143	31,6	1,0 -	-
>0, <7 * 10 ⁶ Nh	91	21,1	138	30,5	1,4 (1,0-2,1)	6%
≥7, <10 * 10 ⁶ Nh	35	8,1	32	7,1	2,1 (1,2-3,7)	4%
≥10, <18 * 10 ⁶ Nh	51	11,8	37	8,2	2,9 (1,7-5,0)	8%
≥18, <30 * 10 ⁶ Nh	66	15,3	34	7,5	3,8 (2,3-6,4)	11%
≥30 * 10⁶ Nh	112	25,9	69	15,2	3,0 (1,9-4,6)	17%
<i>e) Erreichen/Überschreiten von 56 MNh versus Lebensdosis von 0 MNh</i>						
0 Nh	76	17,6	143	31,6	1,0 -	-
>0, <7 * 10 ⁶ Nh	91	21,1	138	30,5	1,4 (1,0-2,1)	6%
≥7, <10 * 10 ⁶ Nh	35	8,1	32	7,1	2,1 (1,2-3,7)	4%
≥10, <18 * 10 ⁶ Nh	51	11,8	37	8,2	3,0 (1,7-5,0)	8%
≥18, <30 * 10 ⁶ Nh	66	15,3	34	7,5	3,9 (2,3-6,5)	11%
≥30, <56 * 10 ⁶ Nh	64	14,8	35	7,7	3,5 (2,1-5,9)	11%
≥56 * 10⁶ Nh	48	11,1	34	7,5	2,5 (1,4-4,3)	7%

Tabelle 7.1.4-2: Häufigkeit der Überschreitung einer Gesamtdosis von 7, 10, 18, 30 und 56 MNh bei Männern (ausgehend von dem Referenzdosismodell mit der Datengrundlage der Bestimmungsgleichungen) mit Angabe der Odds Ratios für Prolaps und Chondrose kombiniert (Fallgruppe 1 und 3).

Gesamtdosis	F	%	K	%	Adjustierte OR (95%-CI)	PAR
<i>a) Erreichen/Überschreiten der abgeschätzten „Verdopplungsdosis“ (7 MNh) versus Lebensdosis von 0 MNh</i>						
0 Nh	78	18,1	147	32,5	1,0 -	-
>0, <7 * 10 ⁶ Nh	102	23,7	133	29,4	1,6 (1,1-2,4)	9%
≥7 * 10⁶ Nh	251	58,2	173	38,2	2,8 (2,0-4,0)	37%
<i>b) Erreichen/Überschreiten von 10 MNh versus Lebensdosis von 0 MNh</i>						
0 Nh	78	18,1	147	32,5	1,0 -	-
>0, <7 * 10 ⁶ Nh	102	23,7	133	29,4	1,6 (1,1-2,4)	9%
≥7, <10 * 10 ⁶ Nh	30	7,0	34	7,5	1,7 (1,0-3,1)	3%
≥10 * 10⁶ Nh	221	51,3	139	30,7	3,1 (2,1-4,5)	35%
<i>c) Erreichen/Überschreiten von 18 MNh versus Lebensdosis von 0 MNh</i>						
0 Nh	78	18,1	147	32,5	1,0 -	-
>0, <7 * 10 ⁶ Nh	102	23,7	133	29,4	1,6 (1,1-2,4)	9%
≥7, <10 * 10 ⁶ Nh	30	7,0	34	7,5	1,7 (1,0-3,1)	3%
≥10, <18 * 10 ⁶ Nh	52	12,1	40	8,8	2,7 (1,6-4,5)	8%
≥18 * 10⁶ Nh	169	39,2	99	21,9	3,3 (2,2-4,8)	27%
<i>d) Erreichen/Überschreiten von 30 MNh versus Lebensdosis von 0 MNh</i>						
0 Nh	78	18,1	147	32,5	1,0 -	-
>0, <7 * 10 ⁶ Nh	102	23,7	133	29,4	1,6 (1,1-2,4)	9%
≥7, <10 * 10 ⁶ Nh	30	7,0	34	7,5	1,7 (1,0-3,1)	3%
≥10, <18 * 10 ⁶ Nh	52	12,1	40	8,8	2,7 (1,6-4,5)	8%
≥18, <30 * 10 ⁶ Nh	55	12,8	34	7,5	3,3 (2,0-5,6)	9%
≥30 * 10⁶ Nh	114	26,5	65	14,3	3,2 (2,1-5,0)	18%
<i>e) Erreichen/Überschreiten von 56 MNh versus Lebensdosis von 0 MNh</i>						
0 Nh	78	18,1	147	32,5	1,0 -	-
>0, <7 * 10 ⁶ Nh	102	23,7	133	29,4	1,7 (1,1-2,5)	10%
≥7, <10 * 10 ⁶ Nh	30	7,0	34	7,5	1,7 (1,0-3,1)	3%
≥10, <18 * 10 ⁶ Nh	52	12,1	40	8,8	2,7 (1,6-4,5)	8%
≥18, <30 * 10 ⁶ Nh	55	12,8	34	7,5	3,3 (2,0-5,6)	9%
≥30, <56 * 10 ⁶ Nh	70	16,2	32	7,1	4,2 (2,5-7,0)	12%
≥56 * 10⁶ Nh	44	10,2	33	7,3	2,3 (1,3-4,1)	6%

Bei den Frauen findet sich bei Erhöhung (gegenüber dem „Best Estimate“ von 3 MNh) der Schwelle auf 4,5 MNh auf der Grundlage des „Dortmunders“ (Tabelle 7.1.4-3) ein Odds Ratio von 3,1 (95 %-Konfidenzintervall 2,2 - 4,2) (für Frauen, die diese Schwelle erreichen oder überschreiten, Tabelle 7.1.4-3, Abschnitt b). Für eine Lebensdosis zwischen 3 und 4,5 MNh gemäß Referenzdosismodell ergibt sich in der vorgenannten Auswertung ein Odds Ratio von 1,9 (95 %-Konfidenzintervall 1,1 - 3,4). Der Punktschätzer von 1,9 liegt noch knapp unter dem „Verdopplungsrisiko“; somit bleibt auf der Grundlage dieser Auswertung offen, ob das Verdopplungsrisiko bereits innerhalb dieser Dosisgruppe erreicht wird. Würde die obere „Gruppengrenze“ von 4,5 MNh als Schätzwert des Verdopplungsrisikos gewählt, so würde damit wiederum die „Spezifität“ der Feststellung einer Überschreitung des Verdopplungsrisikos erhöht (bei einem gleichzeitigen Verlust an „Sensitivität“). Bei einer weiteren Erhöhung der Lebensdosisschwelle auf 8,5 MNh (Tabelle 7.1.4-3, Abschnitt c) findet sich im Bereich zwischen 4,5 und 8,5 MNh bereits ein Odds Ratio von 3,2; dabei liegt die untere Grenze des 95 %-Konfidenzintervalls (1,9 - 5,3) sehr nahe bei der 2. Es erscheint somit fragwürdig, ob die Abschätzung des Verdopplungsrisikos mit einem Wert zwischen 4,5 und 8,5 MNh mit den dargestellten Auswertungen wissenschaftlich vereinbar wäre.

Würde ein Wert von 4,5 MNh als Schätzwert des Verdopplungsrisikos gewählt (Tabelle 7.1.4-3, Abschnitt b), so würden gemäß dieser Auswertungen immer noch 29 % der allgemeinen weiblichen Bevölkerung die „Verdopplungsdosis“ überschreiten. Bei einem Schätzwert des Verdopplungsrisikos von 8,5 MNh (Tabelle 7.1.4-3, Abschnitt c) würden 21 % der allgemeinen weiblichen Bevölkerung die „Verdopplungsdosis“ überschreiten. Das PAR von 3 % für die Frauen im Lebensdosisbereich zwischen 3 und 4,5 MNh (Tabelle 7.1.4-3, Abschnitt b) besagt, dass schätzungsweise 3 % der Bandscheiben-Erkrankungsfälle in der Bevölkerung „tatsächlich“ ursächlich auf eine Exposition in diesem Dosisbereich zurückzuführen sind. Der mit einer Erhöhung der Lebensdosisschwelle von 3 auf 4,5 MNh verbundene Verlust an „Sensitivität“ bezüglich der Identifizierung „tatsächlich“ berufsbedingter Bandscheibenerkrankungen erscheint somit als relativ gering. Bei einer Erhöhung der Lebensdosisschwelle von 3 auf 8,5 MNh würden gemäß den dargestellten Berechnungsergebnissen bereits etwa 11 % „tatsächlich“ ursächlich auf die Berufstätigkeit zurückzuführende Bandscheibenerkrankung nicht als solche gewertet werden können (3 + 8 %, Tabelle 7.1.4-3, Abschnitt c). Wird die dargestellte Analyse auf der Datengrundlage der Bestimmungsgleichungen durchgeführt (Tabelle 7.1.4-4), so sind die Ergebnisse mit den vorgenannten Ergebnissen auf der Datengrundlage des „Dortmunders“ vergleichbar.

Tabelle 7.1.4-3: Häufigkeit der Überschreitung einer Gesamtdosis von 3, 4 ½, 8 ½, 14 und 24 ½ MNh bei Frauen (ausgehend von dem „Referenzdosismodell“ auf der Grundlage des „Dortmunders“) mit Angabe der Odds Ratios für Prolaps und Chondrose kombiniert (Fallgruppen 2 und 4).

Gesamtdosis	F	%	K	%	Adjustierte OR (95%-CI)	PAR
<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 ⁶ Nh	88	18,2	86	19,2	1,9 (1,3-2,8)	9%
≥3 * 10⁶ Nh	263	54,3	158	35,3	2,8 (2,1-3,9)	35%
<i>b) Erreichen/Überschreiten von 4½ MNh versus Lebensdosis von 0 MNh</i>						
0 Nh	133	27,5	204	45,5	1,0 -	-
>0, <3 * 10 ⁶ Nh	88	18,2	86	19,2	1,9 (1,3-2,8)	9%
≥3, <4,5 * 10 ⁶ Nh	33	6,8	30	6,7	1,9 (1,1-3,4)	3%
≥4,5 * 10⁶ Nh	230	47,5	128	28,6	3,1 (2,2-4,2)	32%
<i>c) Erreichen/Überschreiten von 8½ MNh versus Lebensdosis von 0 MNh</i>						
0 Nh	133	27,5	204	45,5	1,0 -	-
>0, <3 * 10 ⁶ Nh	88	18,2	86	19,2	1,9 (1,3-2,8)	9%
≥3, <4,5 * 10 ⁶ Nh	33	6,8	30	6,7	1,9 (1,1-3,4)	3%
≥4,5, <8,5 * 10 ⁶ Nh	55	11,4	33	7,4	3,2 (1,9-5,3)	8%
≥8,5 * 10⁶ Nh	175	36,2	95	21,2	3,0 (2,1-4,3)	24%
<i>d) Erreichen/Überschreiten von 14 MNh versus Lebensdosis von 0 MNh</i>						
0 Nh	133	27,5	204	45,5	1,0 -	-
>0, <3 * 10 ⁶ Nh	88	18,2	86	19,2	1,9 (1,3-2,8)	9%
≥3, <4,5 * 10 ⁶ Nh	33	6,8	30	6,7	1,9 (1,1-3,4)	3%
≥4,5, <8,5 * 10 ⁶ Nh	55	11,4	33	7,4	3,2 (1,9-5,3)	8%
≥8,5, <14 * 10 ⁶ Nh	52	10,7	33	7,4	2,9 (1,7-4,8)	7%
≥14 * 10⁶ Nh	123	25,4	62	13,8	3,1 (2,1-4,5)	17%
<i>e) Erreichen/Überschreiten von 24½ MNh versus Lebensdosis von 0 MNh</i>						
0 Nh	133	27,5	204	45,5	1,0 -	-
>0, <3 * 10 ⁶ Nh	88	18,2	86	19,2	1,9 (1,3-2,8)	9%
≥3, <4,5 * 10 ⁶ Nh	33	6,8	30	6,7	1,9 (1,1-3,4)	3%
≥4,5, <8,5 * 10 ⁶ Nh	55	11,4	33	7,4	3,2 (1,9-5,3)	8%
≥8,5, <14 * 10 ⁶ Nh	52	10,7	33	7,4	2,9 (1,7-4,8)	7%
≥14, <24,5 * 10 ⁶ Nh	53	11,0	31	6,9	2,8 (1,7-4,7)	7%
≥24,5 * 10⁶ Nh	70	14,5	31	6,9	3,3 (2,0-5,4)	10%

Tabelle 7.1.4-4: Häufigkeit der Überschreitung einer Gesamtdosis von 3, 4 ½, 8 ½, 14 und 24 ½ MNh bei Frauen (ausgehend von dem „Referenzdosismodell“ auf der Grundlage der Bestimmungsgleichungen) mit Angabe der Odds Ratios für Prolaps und Chondrose kombiniert (Fallgruppen 2 und 4).

Gesamtdosis	F	%	K	%	Adjustierte OR (95%-CI)	PAR
-------------	---	---	---	---	-------------------------	-----

a) Erreichen/Überschreiten der abgeschätzten „Verdopplungsdosis“ (3 MNh) versus Lebensdosis von 0 MNh

0 Nh	135	27,9	204	45,5	1,0 -	-
>0, <3 * 10 ⁶ Nh	86	17,8	86	19,2	1,8 (1,2-2,6)	8%
≥3 * 10⁶ Nh	263	54,3	158	35,3	2,8 (2,0-3,8)	35%

b) Erreichen/Überschreiten von 4½ MNh versus Lebensdosis von 0 MNh

0 Nh	135	27,9	204	45,5	1,0 -	-
>0, <3 * 10 ⁶ Nh	86	17,8	86	19,2	1,8 (1,2-2,6)	8%
≥3, <4,5 * 10 ⁶ Nh	30	6,2	26	5,8	2,0 (1,1-3,6)	3%
≥4,5 * 10⁶ Nh	233	48,1	132	29,5	2,9 (2,1-4,0)	32%

c) Erreichen/Überschreiten von 8½ MNh versus Lebensdosis von 0 MNh

0 Nh	135	27,9	204	45,5	1,0 -	-
>0, <3 * 10 ⁶ Nh	86	17,8	86	19,2	1,8 (1,2-2,6)	8%
≥3, <4,5 * 10 ⁶ Nh	30	6,2	26	5,8	2,0 (1,1-3,6)	3%
≥4,5, <8,5 * 10 ⁶ Nh	55	11,4	38	8,5	2,7 (1,7-4,4)	7%
≥8,5 * 10⁶ Nh	178	36,8	94	21,0	3,0 (2,1-4,2)	25%

d) Erreichen/Überschreiten von 14 MNh versus Lebensdosis von 0 MNh

0 Nh	135	27,9	204	45,5	1,0 -	-
>0, <3 * 10 ⁶ Nh	86	17,8	86	19,2	1,8 (1,2-2,6)	8%
≥3, <4,5 * 10 ⁶ Nh	30	6,2	26	5,8	2,0 (1,1-3,6)	3%
≥4,5, <8,5 * 10 ⁶ Nh	55	11,4	38	8,5	2,7 (1,7-4,4)	7%
≥8,5, <14 * 10 ⁶ Nh	53	11,0	27	6,0	3,5 (2,1-6,0)	8%
≥14 * 10⁶ Nh	125	25,8	67	15,0	2,8 (1,9-4,1)	17%

e) Erreichen/Überschreiten von 24½ MNh versus Lebensdosis von 0 MNh

0 Nh	135	27,9	204	45,5	1,0 -	-
>0, <3 * 10 ⁶ Nh	86	17,8	86	19,2	1,8 (1,2-2,6)	8%
≥3, <4,5 * 10 ⁶ Nh	30	6,2	26	5,8	2,0 (1,1-3,6)	3%
≥4,5, <8,5 * 10 ⁶ Nh	55	11,4	38	8,5	2,7 (1,7-4,4)	7%
≥8,5, <14 * 10 ⁶ Nh	53	11,0	27	6,0	3,5 (2,1-6,0)	8%
≥14, <24,5 * 10 ⁶ Nh	59	12,2	38	8,5	2,5 (1,5-4,0)	7%
≥24,5 * 10⁶ Nh	66	13,6	29	6,5	3,2 (2,0-5,3)	9%

7.2 Diskussion zu Projektteil 2

Die in Projektteil 2 durchgeführten Auswertungen auf Grundlage des Datensatzes der Deutschen Wirbelsäulenstudie verfolgten in erster Linie zwei Ziele: Die Entwicklung eines auf Bestimmungsgleichungen basierenden Berechnungsverfahrens für Bandscheibendruckkräfte sowie die detaillierte Darstellung relevanter Einzelbelastungen in den einzelnen Probandengruppen. Im Folgenden sollen die Methoden und Ergebnisse zu beiden Projektteilzielen diskutiert werden.

a) Güte der Tagesdosisberechnung auf Grundlage von Bestimmungsgleichungen

Mit der Ableitung von Berechnungsformeln zur Abschätzung der Bandscheibendruckkraft ($L5/S1$) auf der Grundlage biomechanischer Simulationsrechnungen („Der Dortmunder“) wurde in dieser Studie ein neuer Ansatz entwickelt, komplexe biomechanische Vorgänge praxisgerecht aufzuarbeiten. Die für diesen Ansatz gewählte Methodik (Kapitel 4.2) beruhte dabei auf zwei Überlegungen: Zum einen sollten die Eigenschaften des biomechanischen Simulationsmodells „Der Dortmunder“ möglichst gut in ein Berechnungsmodell transformiert werden, zum Anderen sollten die in das Berechnungsmodell zu integrierenden Vorgänge oder Einzeltätigkeiten nicht auf theoretischen Konstrukten, sondern auf dem konkreten, als repräsentativ angesehenen Datensatz der Deutschen Wirbelsäulenstudie basieren. Für die Druckkraftzuordnung aus den Bereichen belastungsintensive Körperhaltungen, Schaufeln, Ziehen, Schieben sowie Tätigkeiten aus den Bereichen Pflege, Land- und Forstwirtschaft konnte dazu auf biomechanisch fundierte und bereits in der Praxis bewährte Tabellenwerte zurückgegriffen werden. Für den Bereich der „klassischen“ manuellen Lastenhandhabungen (Heben, Absenken, Umsetzen, Tragen und Halten von Lasten) war es dagegen notwendig, die im Datensatz der DWS1 vorkommende Zahl von insgesamt 1.878 verschiedenen Ausführungsarten stark zu reduzieren, um ein praxistaugliches Instrument zu entwickeln.

Den zuvor genannten Kriterien der biomechanischen Validität und der Repräsentativität der abzuleitenden Bestimmungsgleichungen wurde dadurch versucht gerecht zu werden, dass in die Auswahl der Kombinationen nur Modelle einbezogen wurden, die in gewisser Häufigkeit im Datensatz zu finden waren. Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion des Formelsatzes bestand dann in einer hinsichtlich der biomechanischen Eigenschaften sinnvollen Zusammenfassung von Kombinationen.

Die Diskrepanz zwischen möglichst genauer Wiedergabe der Eigenschaften des Modells „Der Dortmunder“ bei gleichzeitiger Reduzierung des Formelsatzes hin zu einem praxistauglichen Instrument zeigte sich wie erwartet in den Untersuchungen zur Validität der

Berechnungsergebnisse: Mit der Reduzierung der Anzahl der Bestimmungsgleichungen sank auch die Güte der mit diesen durchgeführten Druckkraftschätzungen bzw. der daraus resultierenden Tagesdosiswerte (Kapitel 5.2.2). Während der „Basisformelsatz“ (Grundlage 45 Bestimmungsgleichungen) in den Untersuchungen zur Validität noch ein Übereinstimmungsmaß R^2 von 0,94 aufwies, zeigten der „Reduzierte Formelsatz“ (22 Gleichungen, $R^2 = 0,88$) und der „Finale Formelsatz“ (11 Gleichungen, $R^2 = 0,87$) etwas schlechtere Übereinstimmungen. Allerdings lagen bei letzterem immer noch etwa 72 % der Daten in einem „Abweichungsbereich“ von weniger als ± 10 %, so dass von einer passablen Anpassung an den als Referenz definierten Datensatz auf Grundlage des „Dortmunders“ ausgegangen werden kann.

Die generelle Geeignetheit des „Finalen Formelsatzes“ ließ sich schließlich auch durch die Ergebnisse aus Projektteil 1 bestätigen, wo die sog. 400er-Modelle auf die Dosisberechnungen mit dem „Finalen Formelsatz“ zurückzuführen sind, während die 300er-Modelle auf Grundlage des „Dortmunders“ berechnet wurden – bei Voraussetzung jeweils gleicher fallgruppenspezifischen Schwellenwerten für Druckkraft, Rumpfvorneigung und Tagesdosis.

Im Einzelnen zeigte sich, dass

- die OR-Verlaufskurven für 300er- und 400er Modelle sehr ähnlich sind (s. Kapitel 5.1.4.1);
- das Ranking der AIC-Werte für 300er- und 400er-Modelle sehr ähnlich ist (s. Abbildung 5.1.3.-16);
- sich die absoluten AIC-Werte pro Fallgruppe für 300er- und 400er-Modelle kaum unterscheiden (s. Abbildung 5.1.3.-16);
- sich beim Vergleich der Berechnung der Lebensdosen nach beiden Verfahren eine gute Übereinstimmung ergibt (s. Kapitel 5.1.3.4.1).

In der für den „Finalen Formelsatz“ durchgeführten Ausreißeranalyse (s. Kapitel 5.2.2.3.1) fanden sich einzelne Kombinationen (Ausführungsarten) im Bereich der manuellen Lastenhandhabungen, deren korrespondierende Bandscheibenbelastung mit dem verwendeten Formelsatz weniger gut wiedergegeben werden konnte. Da es sich dabei aber nur um Einzelfälle und in der beruflichen Praxis relativ selten vorkommende Belastungsarten (z. B. Tragen eines Rucksacks) handelt, kann im Einklang mit den oben genannten Kriterien davon ausgegangen werden, dass der „Finale Formelsatz“ als Instrument mit hoher Validität anzusehen ist. Die Kernergebnisse der vorliegenden Reanalyse lassen sich mit diesem Formelsatz gut reproduzieren und die Anzahl von 11 Bestimmungsgleichungen und drei

Faktoren für manuelle Lastenhandhabungen erscheint im Vergleich zu den im MDD verwendeten sieben Gleichungen immer noch als praxistauglich. Analog zum MDD gelten selbstverständlich auch für dieses Instrument die Grenzen retrospektiver Expositionsermittlungen.

b) Einzelbelastungsanalyse

Die in Projektteil 2 geplante Einzelbelastungsanalyse zur Identifizierung relevanter Belastungsarten innerhalb der einzelnen Probandengruppen gestaltete sich aufgrund des Studiendesigns der Deutschen Wirbelsäulenstudie als schwierig: Daten aus dem detaillierten TAD-Interview lagen nur für 1.199 von 1.816 Probanden (= 66 %) vor, die eine definierte Mindestexposition in einem standardisierten Erstinterview erreicht hatten oder zu einer kleinen Stichprobe gering oder nicht belasteter Probanden gehörten („TAD-Probanden“, Ellegast et al. 2007). Demnach lagen nicht für alle 901 Kontrollprobanden detaillierte Expositionsdaten vor, so dass Rückschlüsse auf Belastungen innerhalb der Allgemeinbevölkerung nur mittels Hochrechnungen und damit nur eingeschränkt möglich waren (s. Kapitel 5.2.3).

Bezogen auf die TAD-Probanden ließen sich folgende Belastungen als relativ häufig vorkommend identifizieren: Heben/Absenken/Umsetzen von Lasten, Tragen von Lasten sowie Rumpfbeugen ab 45° und ab 75° Vorneigung. Dagegen kamen Expositionen durch die Lastenhandhabungen Halten, Ziehen und Schieben sowie die extreme Rumpfbeugehaltung ab 90° Vorneigung relativ selten innerhalb dieses Kollektivs vor.

7.3 Methodenkritik

Das Gesamtprojekt ist als eine explorative detaillierte Datenanalyse der in der Deutschen Wirbelsäulenstudie erhobenen Daten mit der dort erzielten Datenqualität zu sehen. Wie bei allen epidemiologischen Studien ist für die DWS die Primärdatenqualität und die Beziehung der erhobenen Daten zur Referenzpopulation die überwiegende Quelle der Validität und der Fehlerquellen (Selektionsbias, Confounding). Diese Datenqualität wird im Abschlussbericht DWS1 in Kapitel 3.6 (Wertung der vorliegenden Untersuchung, S. 180 bis 185, Bolm-Audorff et al. 2007a) beschrieben. Die dort beschriebenen Validitäts- und Verzerrungsprobleme sind auch für die hier abgeleiteten Ergebnisse die entscheidenden potenziellen die Validität beeinflussenden Größen.

Die Untersuchungen der Deutschen Wirbelsäulenstudie und auch die Analysen der DWS-Richtwertestudie basieren in wesentlichen Aspekten auf der Bestimmung und Bewertung der

bei relevanten Vorgängen mit besonderer Körperhaltung oder Lastenhandhabung auftreten-
auftretenden Druckkraft in der Lendenwirbelsäule. Somit folgen DWS1 und DWS2 der
Argumentation, wie sie bei der Prüfung der arbeitstechnischen Voraussetzungen für die
Anerkennung einer bandscheibenbedingten Erkrankung der Lendenwirbelsäule als
Berufskrankheit BK 2108 sowie auch in zahlreichen arbeitswissenschaftlichen
Fragestellungen vorliegt. Allerdings sollte bei einer umfassenden und detaillierten Analyse
und Diskussion von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen nicht außer Acht gelassen
werden, dass die lumbale Druckkraft die Belastung nicht vollständig beschreibt, sondern nur
eine Komponente der Gesamtkraft darstellt, die je nach Tätigkeit auch sagittale und laterale
Scherkräfte aufweist; zudem wirken üblicherweise auch Torsions- und (seitliche)
Beugemomente, denen eine schädigende Wirkung insbesondere bei Überlagerung mit
Kompressionen zugeschrieben werden kann. Derartige Belastungsformen treten
insbesondere bei Tätigkeiten auf, die von deutlicher Asymmetrie der Körperhaltung – wie
beispielsweise Seitwendungen des Oberkörpers, Rumpfverdrehungen und seitliche
Armstellungen – oder auch von beidseits unterschiedlichen Kraftausübungen wie beim
einhändigen Handhaben von Lastobjekten oder beim manuellen Bewegen von Patienten,
geprägt sind. Daraus kann geschlossen werden, dass die Belastung des Muskel-Skelett-
Systems im Allgemeinen nicht symmetrisch zur Körpermittenebene ist, wie auch die
Erhebungen innerhalb der Deutschen Wirbelsäulenstudie verdeutlicht haben. Dieser
Sachverhalt deutet somit auf ein biomechanisches Überlastungspotenzial und auf eine
eventuelle Unterschätzung des Überlastungsrisikos hin, wenn die Bewertung und
Beurteilung der Wirbelsäulenbelastung allein anhand der Kenngröße „Druckkraft an einer
Bandscheibe der Lendenwirbelsäule“ und daraus abgeleiteten kumulierten Dosiswerten
erfolgt. In der DWS wurden zwar dazu „prospektiv“ Daten zu Scherkräften sowie Torsions-
und Seitbeugemomenten und auch korrespondierende kumulative Maße miterhoben, deren
Beschreibung und Interpretation konnte jedoch bisher aufgrund des zusätzlichen Aufwands,
des naturgemäß beschränkten Zeitbudgets und anderer Schwerpunktsetzung nicht erfolgen.

Die DWS-Richtwertestudie untergliedert sich in drei Abschnitte

- (1) Variation der Tages- und Einzelbelastungsschwellwerte für verschiedene
Expositionsarten
- (2) Bestimmung statistisch geschätzter Verdopplungs-Dosis-Werte (und deren
statistischer Präzision) für die kumulative Lebenszeit-Belastung für Fallgruppen 1 bis
4; Berechnung des jeweiligen Wertes der kumulativen Belastungsdosis in der Dosis-
Wirkungs-Kurve, bei der die Kurve den Wert $OR = 2$ überschreitet
- (3) Aufstellung von Bestimmungsgleichungen für die kumulative Belastungsdosis aus
den Beobachtungsdaten und Ermittlung von deren Validität und Reliabilität mit dem

Ziel, eine Schätzung der kumulativen Belastungsdosis in Abhängigkeit von den elementaren Beobachtungsdaten durchzuführen

Nur für Teil (1) lag ein vorab definierter statistischer Analyseplan vor. Die Kriterien wurden nach Analyseplan allerdings nicht gemeinsam variiert, was eine wesentliche Limitation darstellt. Es wurde vereinfachend unterstellt, dass sich das Optimum der Anpassung bei gemeinsamer Variation ungefähr dort befindet, wo die Optima der Einzelvariationen liegen (Unabhängigkeitsannahme).

Teil (3) war derart detailliert im Projektantrag beschrieben, dass die vergleichende statistische Analyse mit dem Goldstandard „Der Dortmunder“ geradlinig durchgeführt werden konnte. Für Teil (2) konnte vorab kein abgeschlossener statistischer Analyseplan vorgelegt werden, da die dabei verwendeten Methoden innovativen Charakter zeigten und bisher in epidemiologischen und arbeitsmedizinischen oder toxikologischen Schwellenwert-Ermittlungen nicht zur Anwendung kamen. Insofern bestand zu diesen Methoden innerhalb der Forschungsgruppe erheblicher Diskussionsbedarf. Die aus dieser Diskussion hervorgegangenen Methoden bedurften einer ausführlichen Dokumentation, damit die damit erzielten Ergebnisse wissenschaftlich reproduzierbar sind. Die wissenschaftliche Community ist ausdrücklich aufgefordert, diese Methoden auf ihre Anwendbarkeit zur Schwellenwert-Bestimmung in arbeitsmedizinisch-epidemiologischen Fragestellungen mit kumulativen Dosis-Wirkungs-Beziehungen zu hinterfragen und zu prüfen.

Die zum Teil (2) innerhalb der Forschungsgruppe getroffenen Entscheidungen betreffen die Festlegung auf eine kontinuierliche Modellierung (Verwendung der kumulativen Dosis als Expositionsvariable) und dabei nach Prüfung von Alternativen die Festlegung auf eine Modellierung mit fraktionalen Polynomen zunächst zweiten und dann gleichrangig zweiten und vierten Grades. Dies gibt der Modellierung mehr Flexibilität, ist allerdings als akzeptiertes Modell in der arbeitsmedizinisch-epidemiologischen Literatur bisher nicht belegt. Die Vorteile einer kontinuierlichen Modellierung der kumulativen Dosis liegen in der besseren Möglichkeit der statistischen Ausnutzung der in den Daten enthaltenen Informationen zu Gestalt und Form der Dosis-Wirkungs-Beziehung (Greenland 1995a, Greenland 1995b, Royston et al. 2006) und damit einer bei Kenntnis des „wahren“ Verlaufs präziseren Schätzung der Parameter einschließlich der daraus zu berechnenden Verdopplungswerte des relativen Risikos. Ebenso ist die Argumentation für die Modellmittelung zu verstehen: Ohne geeignetes „Vorwissen“ liefert der Mittelwert aller nach Anpassungskriterien ausgewählten statistisch akzeptablen Modelle die beste Informationsausnutzung und damit die „beste“ Schätzung der gesuchten „kumulativen Dosis-Wirkungs-Beziehung“. Dies wird auch in der angewandten Literatur (Lavoué und Droz, 2009) so gesehen.

Der Einsatz gewichteter Mittelungsverfahren (Multi-Model-Approach) 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. Diesbezüglich ist darauf hinzuweisen, dass innerhalb des Forschungsverbundes 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, so dass 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 (s. Kap. 5.1.3.3). 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.

In der Forschungsgruppe ist intensiv über inhaltlich (arbeitsmedizinisch, arbeitsepidemiologisch, arbeitsphysiologisch) begründbare „plausible“ Modellklassen und damit verbundene inhaltliche Kriterien der Modellwahl diskutiert wurden. Letztlich kam die Gruppe zu der Ansicht, dass nicht ausreichend belastbare Arbeiten aus der Literatur dazu vorliegen. Auch die im Ersatz angebotenen und in DWS1 angewandten Plausibilitätskriterien (Einfachheit, Monotonie, Spezifität im hohen Dosisbereich, Ähnlichkeit zwischen Männern und Frauen) konnten wegen unterschiedlicher Begriffsinterpretation in der Gruppe und zwischen den beteiligten Fachdisziplinen hier nicht angewendet werden (s.a. Kap. 4.1.3.1).

Die Entscheidung für die kontinuierliche Modellierung der kumulativen Dosis beruhte neben den informationstechnisch-statistischen Argumenten auf dem Praktikabilitätsargument, dass sich damit mit einer Rechenprozedur sogleich auch eine Verdopplungsdosis und über die Umkehrfunktion der bekannten punktwisen Konfidenzbänder für das OR an jeder Stelle der kumulativen Dosis auch ein „Pseudo“-Konfidenzintervall für die Verdopplungsdosis ermitteln lässt.

Die Ergebnisse der Berechnungen zur Verdopplungsdosis bauen aus epidemiologischer Sicht darauf auf, dass der gewählte Modellfindungsprozess in die statistische Nähe des unbekannten „wahren“ kumulativen Dosis-Wirkungs-Modells kommt. Bekanntermaßen hängen Schätzungen (insbesondere von Dosis-Wirkungs-Beziehungen) erheblich von der

Datenqualität, und deren bei epidemiologischen Felderhebungen innewohnenden Fehler-Fehlerquellen ab, die sich mit den Begriffen „Healthy-Worker-Effekt“, Selektionsbias, Informationsbias, Confounding beschreiben lassen und bis auf wenige Basisconfounder in der Modellierung mangels zusätzlicher Außeninformation nicht modelliert werden konnten. Die im Rahmen der kategorisierten Auswertung der DWS beschriebene Risikoabschwächung bei hohen körperlichen Belastungen (Bolm-Audorff et al. 2007a, b, Seidler et al. 2007, Seidler et al. 2009b) lassen sich ebenso als möglicher Hinweis auf einen Healthy-Worker-Effekt interpretieren.

Ein besonderes Problem stellt die durchaus begründete Hypothese dar, dass die Bezugspopulation „deutsche Bevölkerung im Altersbereich von 25 bis 75 Jahren“ sich hinsichtlich der kumulativen Dosis-Wirkungs-Beziehung in „unbekannte“ oder „unbeobachtete“ Subpopulationen unterschiedlicher Suszeptibilität zergliedert. Hier wird deutlich weiterer Forschungsbedarf angezeigt.

Es bleibt der weiteren wissenschaftlich-inhaltlichen Diskussion überlassen, die gefundenen kumulativen Dosis-Wirkungs-Beziehungen zu werten.

8 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die vorliegende vertiefende Reanalyse der Deutschen Wirbelsäulenstudie deren grundsätzliches Ergebnis bestätigt, demzufolge sich auch unterhalb bestimmter Schwellenwerte des Mainz-Dortmunder Dosismodells (MDD) ein erhöhtes Bandscheiben-Erkrankungsrisiko findet (Bolm-Audorff et al. 2007a, b, Seidler et al. 2007, Seidler et al. 2009). Den vorliegenden Ergebnissen zufolge führt insbesondere eine Verringerung der vom MDD vorgesehenen Schwellen bezüglich Rumpfneigung und Tagesdosis zu einer verbesserten Abbildung der Bandscheibenerkrankungs-Risiken.

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

Bezüglich der Rumpfneigungshaltungen 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 Tagesdosisschwellen, die unterhalb der im MDD verwendeten Werte liegen, und zwar 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 verwendet²¹. 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, so dass die resultierenden Werte für die Lebensdosis als „Best Estimate“ aufzufassen sind. Andererseits bedingen aber sowohl der Kurvenverlauf der Dosis-Wirkungs-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.

Ein wesentliches Forschungsergebnis mit hoher praktischer Relevanz für die gesetzliche Unfallversicherung ist unabhängig von der Frage geeigneter Schwellenwerte die Entwicklung neuer Bestimmungsgleichungen zur Berechnung der Druckkräfte: Diese Bestimmungsgleichungen sind als wissenschaftlich gut abgesichert anzusehen, da sich mit ihrem Einsatz die Kernergebnisse der vorliegenden Reanalyse gut reproduzieren lassen. Trotz ihrer erhöhten Komplexität im Vergleich mit den bisher im BK-Ermittlungsverfahren eingesetzten Bestimmungsgleichungen können die neuen Formeln ebenfalls als praxistauglich angesehen werden.

²¹ Anmerkung: Ca. ein Drittel der Allgemeinbevölkerung erreicht oder überschreitet diese genannten Lebensdosiswerte (vgl. Tabellen 7.1.4-1 und 7.1.4-3)

9 Literatur

- Agresti A. Categorical Data Analysis. 2nd edition, New York, Wiley & Sons, 2002.
- Bailer AJ, Noble RB, Wheeler MW. Model uncertainty and risk estimation for experimental studies of quantal responses. *Risk Analysis* 2005;25(2):291-299.
- Benke G, Sim M, Fritschi L, Aldred G. Beyond the job exposure matrix (JEM): the task exposure matrix (TEM). *Ann Occup Hyg.* 2000;44(6):475-82.
- Bergmann A, Seidler A, Schumann B, Fischer S, Bolm-Audorff U, Ditchen D, Ellegast R, Elsner G, Grifka J, Hinz B, Hofmann F, Jäger M, Linhardt O, Luttmann A, Michaelis M, Petereit-Haack G, Haerting J: Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition durch Ganzkörpervibration und bandscheibenbedingten Erkrankungen der Lendenwirbelsäule – Auswertungen innerhalb der Deutschen Wirbelsäulenstudie. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie* 2007;57:317-327.
- Bland JM, Altman DG. Comparing methods of measurement: why plotting difference against standard method is misleading. *Lancet.* 1995;346:1085-7.
- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet.* 1986:307-10.
- Bolm-Audorff U, Bergmann A, Ditchen D, Ellegast R, Elsner G, Geiß O, Grifka J, Haerting J, Hofmann F, Jäger M, Linhardt O, Luttmann A, Michaelis M, Nübling M, Petereit-Haack G, Schumann B, Seidler A: Abschlussbericht zur Deutschen Wirbelsäulenstudie. 2007a www.dguv.de/inhalt/leistungen/versschutz2429/bk/wirbelsaeule/index.html.
- Bolm-Audorff U, Bergmann A, Ditchen D, Ellegast R, Elsner G, Grifka J, Haerting J, Hofmann F, Jäger M, Linhardt O, Luttmann A, Michaelis M, Petereit-Haack G, Seidler A: Zusammenhang zwischen manueller Lastenhandhabung und lumbaler Chondrose – Ergebnisse der Deutschen Wirbelsäulenstudie. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie* 2007b;57:304-316.
- Bundessozialgericht, AZ.: B 2 U 4/06 R, Urteil vom 30.10.2007.
- Burdorf A, Rossignol M, Fathallah FA, Snook SH, Herrick RF. Challenges in assessing risk factors in epidemiologic studies on back disorders. *Am J Ind Med.* 1997;32:142-152.
- Burnham KP, Anderson DR. Model selection and multi-model inference: a practical information-theoretic approach. 2nd Ed. Springer, New York 2002.
- Cleveland WS, Devlin S. Locally weighted regression: An approach to regression analysis by local fitting. *Journal of the American Statistical Association*, 1988;83:596-610.
- Dankovic D, Kuempel E, Wheeler M. An approach to risk assessment for TiO₂. *Inhalation Toxicology* 2007;19 Suppl 1:205-212.
- Ellegast R, Ditchen D, Bergmann A, Bolm-Audorff U, Elsner G, Grifka J, Haerting J, Hofmann F, Jäger M, Linhardt O, Luttmann A, Michaelis M, Petereit-Haack G, Seidler A. Erhebungen zur beruflichen Wirbelsäulenexposition durch die Technischen Aufsichtsdiene der Unfallversicherungsträger im Rahmen der Deutschen Wirbelsäulenstudie. *Zbl Arbeitsmed.* 2007;57:251-63.
- Forster MR. Key concepts in model selection: Performance and generalizability. *Journal of mathematical psychology* 2000;44:205-31.
- Glitsch U, Ottersbach HJ, Ellegast R, Sawatzki K, Voß J, Luttmann A, Jäger M, Rehme G. Belastungen der Lendenwirbelsäule bei Schaufeltätigkeiten. BGIA-Report 4/2008. DGUV (Hrsg.). Sankt Augustin.

Greenland S. Avoiding power loss associated with categorization and ordinal scores in dose-response and trend analysis. *Commentaries. Epidemiology* 1995a;6;2: 450-454.

Greenland S. Dose-response and trend analysis in epidemiology: alternatives to categorical analysis. *Epidemiology* 1995b;6;2: 356-365.

Grouven U, Bender R, Ziegler A, Lange S. Vergleich von Messmethoden. *Dtsch Med Wochenschr.* 2007;132:e69-e73. doi: 10.1055/s-2007-959047.

Hansen PR, Lunde A, Nason JM. The Model Confidence Set. *Ergonomica* 2011;79;2: 453-497

Hartung E, Schäfer K, Jäger M, Luttmann A, Bolm-Audorff U, Kuhn S, Paul R, Francks HP. 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* 1999;34:112-22.

Hartvigsen J, Bakketeig LS, Leboeuf-Yde C, Engberg M, Lauritzen T. 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* 2001;26:1788-92; discussion 1792-3.

Heneweer H, Vanhees L, Picavet HSJ. Physical activity and low back pain: A U-shaped relation? *Pain.* 2009;143:21-5.

Jäger M, Bergmann A, Bolm-Audorff U, Ellegast R, Grifka J, Hofmann F, Michaelis M, Luttmann A: Occupational low-back exposure of persons with or without lumbar disc-related diseases: selected results of the German Spine Study EPILIFT. In: *Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen: 17. Erfurter Tage/Grieshaber R (Hrsg.). [Jena]: Bussert & Stadeler, 2011, 341-365.*

Jäger M, Geiß O, Bergmann A, Bolm-Audorff U, Ditschen D, Ellegast R, Elsner G, Grifka J, Haerting J, Hofmann F, Linhardt O, Michaelis M, Petereit-Haack G, Seidler A, Luttmann A: Biomechanische Analysen zur Belastung der Lendenwirbelsäule innerhalb der Deutschen Wirbelsäulenstudie. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie* 2007;57:264-76.

Jäger M, Jordan C, Theilmeier A, Göllner R, Luttmann A. Belastung der Lendenwirbelsäule bei branchenübergreifend auftretenden Arbeitssituationen mit Lastenhandhabung. In: Konietzko J, Dupuis H, Letzel S (Hrsg.). *Handbuch der Arbeitsmedizin.* 36. Erg.-Lfg. (Kap. IV-31, S 1-28). ecomed, Landsberg a.L. 2004.

Jäger M, Jordan C, Theilmeier A, Luttmann A. Ermittlung und Beurteilung vergleichbarer Teiltätigkeiten hinsichtlich der Körperhaltung und der Wirbelsäulenbelastung bei verschiedenen beruflichen Tätigkeiten – Dortmunder Lumbalbelastungsstudie 2. Wissenschaftlicher Schlussbericht zum Forschungsvorhaben. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (Hrsg.). Sankt Augustin; 2001.

Jäger M, Luttmann A, Göllner R (2001a): Belastbarkeit der Lendenwirbelsäule bei manueller Lastenhandhabung – Ableitung der „Dortmunder Richtwerte“ auf Basis der lumbalen Kompressionsfestigkeit. *Zbl Arbeitsmed* 51: 354-372.

Jäger M, Luttmann A, Bolm-Audorff U, Schäfer K, Hartung E, Kuhn S, Paul R, Francks H-P. 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* 1999;34: 101-11.

Jäger M, Luttmann A, Göllner R, Laurig W: 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 2000;105-124. Monade, Leipzig.

Jäger M, Theilmeier A, Jordan C, Luttmann A. Dortmunder Lumbalbelastungsstudie 3 - Ermittlung der Belastung der Lendenwirbelsäule bei ausgewählten Pflegetätigkeiten mit Patiententransfer. Teil 2: Belastungskennwerte von sicher gefährdenden Tätigkeiten im Sinne der BK 2108. Shaker, Aachen. 2005.

Jäger M, Theilmeier A, Jordan C, Luttmann A. Dortmunder Lumbalbelastungsstudie 3 - Ermittlung der Belastung der Lendenwirbelsäule bei ausgewählten Pflegetätigkeiten mit Patiententransfer. Teil 3: Biomechanische Beurteilung von Tätigkeiten im Gesundheitsdienst hinsichtlich der Möglichkeiten zur Prävention von Gefährdungen der Wirbelsäule. Shaker, Aachen. 2008.

Kranig A. Grundlagen und Ziele der Deutschen Wirbelsäulenstudie. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 2007;57:242.

Kriebel D, Checkoway H, Pearce N. Exposure and dose modelling in occupational epidemiology. Occupational and Environmental Medicine 2007;64(7):492-8.

Kuhn S, Baumann W, Lang R, Wortmann N. MDD-Pflege – Vorläufige Dosisberechnung (Gesundheitsdienst). Hrsg.: Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW). Hamburg; 2001.

Lavoué J, Droz PO. Multimodel interference and multimodel averaging in empirical modeling of occupational exposure levels. Ann Occup Hyg. 2009;52(2):173-80. doi:10.1093/annhyg/men085.

Linhardt O, Bolm-Audorff U, Bergmann A, Ditchen D, Ellegast R, Elsner G, Haerting J, Hofmann F, Jäger M, Luttmann A, Michaelis M, Petereit-Haack G, Seidler A, Grifka J. Studiendesign der Deutschen Wirbelsäulenstudie. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 2007;57:243-250.

Long J, Ryoo J. Using fractional polynomials to model non-linear trends in longitudinal data. BJ Math Stat Psych 2010;63:177-203.

Michaelis M, Hofmann F, Bolm-Audorff U, Bergmann A, Ditchen D, Ellegast R, Elsner G, Grifka J, Haerting J, Jäger M, Linhardt O, Luttmann A, Petereit-Haack G, Seidler A. Risikobranchen und -berufe für die Entwicklung bandscheibenbedingter Erkrankungen der Lendenwirbelsäule – Ergebnisse der Deutschen Wirbelsäulenstudie. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 2007;57:277-286.

Morfeld P, Albrecht C, Drommer W, Borm PJA. Dose-response and threshold analysis of tumour prevalence after intratracheal instillation of six types of low and high surface area particles in a chronic rat experiment. Inhalation Toxicology 2006;18:215-25.

Morfeld P, Piekarski C. Chronische Bronchitis und Emphysem als Berufskrankheit der Steinkohlenbergleute. Schriftenreihe Zentralblatt für Arbeitsmedizin, 1996:15, Heidelberg, Dr. Curt Haefner Verlag GmbH.

Morfeld P, Vautrin HJ, Kösters A, Lampert K, Piekarski C. Limit value assessment for respirable coalmine dust in Germany. Applied Occupational and Environmental Hygiene 1997;12(12):840-848.

Neuhauser H, Ellert U, Ziese T. Chronische Rückenschmerzen in der Allgemeinbevölkerung in Deutschland 2002/2003: Prävalenz und besonders betroffene Bevölkerungsgruppen. Gesundheitswesen. 2005;67(10):685-93.

Petereit-Haack G, Bolm-Audorff U, Bergmann A, Ditchen D, Ellegast R, Elsner G, Grifka J, Haerting J, Hofmann F, Jäger M, Linhardt O, Luttmann A, Michaelis M, Schumann B, Seidler

A: Zusammenhang zwischen beruflichen psychosozialen Belastungen und bandscheibenbedingten Erkrankungen der Lendenwirbelsäule – Ergebnisse der Deutschen Wirbelsäulenstudie. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie* 2007;57:328-336.

Punnett L, Pruss-Ustun A, Nelson DI, et al. Estimating the global burden of low back pain attributable to combined occupational exposures. *Am J Ind Med* 2005;48:459–469.

Rothman KJ, Greenland S, Lash TL. *Modern Epidemiology*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 3 ed 2008.

Royston P, Altman DG, Sauerbrei W. Dichotomizing continuous predictors in multiple regression: a bad idea. *Statistics in Medicine* 2006;25:127-141.

Royston P, Altman DG. Approximating Statistical Functions by Using Fractional Polynomial Regression. *Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician)* 1997;46(3):411-422.

Royston P, Ambler G, Sauerbrei W. The use of fractional polynomials to model continuous risk variables in epidemiology. *Int J Epidemiol* 1999;28:964-74.

Royston P, Sauerbrei W. *Multivariable Model-building*. Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley & Sons, Chichester. 2008.

Schumann B, Bolm-Audorff U, Bergmann A, Ellegast R, Elsner G, Grifka J, Haerting J, Jäger M, Michaelis M, Seidler A: Lifestyle factors and lumbar disc disease: results of a German multi-center case-control study (EPILIFT). *Arthritis Research & Therapy* 2010;12:R193.

Seidler A, Bergmann A, Ditchen D, Ellegast R, Elsner G, Grifka J, Haerting J, Hofmann F, Jäger M, Linhardt O, Luttmann A, Michaelis M, Petereit-Haack G, Bolm-Audorff U: Zusammenhang zwischen der kumulativen Wirbelsäulenbelastung durch Lastenhandhabungen und lumbalen Prolapserkrankungen – Ergebnisse der Deutschen Wirbelsäulenstudie. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie* 2007;57:290-303.

Seidler A, Bergmann A, Jäger M, Ellegast R, Ditchen D, Elsner G, Grifka J, Haerting J, Hofmann F, Linhardt O, Luttmann A, Michaelis M, Petereit-Haack G, Schumann B, Bolm-Audorff U. Cumulative occupational lumbar load and lumbar disc disease - results of a German multi-center case-control study (EPILIFT). *BMC Musculoskelet Disord* 2009b;7:10-48.

Seidler A, Bolm-Audorff U, Heiskel H, Beck W, Fuchs C, Henkel N, Roth-Küver B, Schug H, Kaiser U, Elsner G. Der Einsatz des Mainz-Dortmunder-Dosismodells in einer Fall-Kontroll-Studie zu den beruflichen Risiken bandscheibenbedingter Erkrankungen. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 2001;36:10-20.

Seidler A, Bolm-Audorff U, Heiskel H, Henkel N, Roth-Küver B, Kaiser U, Bickeböller R, Willingstorfer WJ, Beck W, Elsner G. The role of cumulative physical work load in lumbar spine disease: Risk factors for lumbar osteochondrosis and spondylosis associated with chronic complaints. *Occup Environ Med* 2001b;58:735-46

Seidler A, Bolm-Audorff U, Siol T, Henkel N, Fuchs C, Schug H, Leheta F, Marquardt G, Schmitt E, Ulrich PT, Beck W, Missalla A, Elsner G. Occupational risk factors for symptomatic lumbar disc herniation: a case-control study. *Occup Environ Med* 2003;60:821-30

Seidler A, Euler U, Bolm-Audorff U, Ellegast R, Grifka J, Haerting J, Jäger M, Michaelis M, Kuss O. Physical workload and accelerated occurrence of lumbar spine diseases: risk and rate advancement periods in a German multicenter case-control study. *Scand J Work Environ Health* 2011;37:30-6.

Seidler A, Liebers F, Latza U. Prävention von Low-Back-Pain im beruflichen Kontext. Bundesgesundheitsblatt 2008;51:322-33.

Seidler A. Die Epidemiologie der arbeitsbezogenen Muskel-Skelett-Erkrankungen – von den Risikoschätzern zu wirksamen Präventionsmaßnahmen. Zbl Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 2010;11:374-376.

Sørensen IG, Jacobsen P, Gyntelberg F, Suadicani P. Occupational and other predictors of herniated lumbar disc disease – a 33-year follow-up in the Copenhagen Male Study. Spine 2011;36:1541-1546.

Straker L, Mathiassen SE. Increased physical work loads in modern work – a necessity for better health and performance. Ergonomics 2009;52:1215-1225.

Suzuki E, Yamamoto E, Tsuda T. On the Relations Between Excess Fraction, Attributable Fraction, and Etiologic Fraction. AJE 2012;175(6):567-575.

Theilmeier A, Jordan C, Wortmann N, Kuhn S, Nienhaus A, Luttmann A, Jäger M. Belastung der Lendenwirbelsäule von Pflegepersonen bei Patiententransfers - Kennwerte zur Nutzung in Berufskrankheiten-Feststellungsverfahren. Zbl. Arbeitsmed. 2006;56:228-251.

Ulm K. A statistical method for assessing a threshold in epidemiological studies. Statistics in medicine 1991;10:341-349.

10 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 4-1: Übersicht zu den in der DWS1 verwendeten Dosismodellen zur Berechnung der Schichtdosis – Kriterien bei der quantitativen Beschreibung der kumulativen Wirbelsäulenbelastung je Arbeitsschicht mit Angabe zu „Erhebungsschwellen“ für Rumpfvorneigung, Bandscheiben-Druckkraft, Tagesdosis und Handhabungsart sowie zur Druckkraft-Wichtung relativ zur Belastungsdauer (nach Jäger et al. 2007)	13
Abbildung 4.1.3-1: Prinzip der separat zu variierenden Eigenschaften* der in der DWS-Richtwertestudie zunächst zu verwendenden 18 Dosismodelle zur Berechnung der Schichtdosis, ausgehend von den durch Fettdruck und Unterstreichen hervorgehobenen Eigenschaften des letztendlich gewählten „Grundmodells“, das Dosismodell 5 der DWS1 entspricht (aus Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben).....	26
Abbildung 4.2.1-1: Datengrundlage zur Ableitung von Bestimmungsgleichungen (Flow-Chart)	38
Abbildung 4.2.1-2: Kombinationsmöglichkeiten Oberkörperhaltung-Lastposition („OL-Matrix“)	40
Abbildung 5.1.3-1: Übersicht zu Tagesdosiswerten bei Modellgruppe 1 – Auswirkung verschiedener Tagesdosisschwellen zwischen 0 und 10,0 kNh auf die Tagesdosis (Dosismodelle 101 bis 108 sowie 201 und 202)	68
Abbildung 5.1.3-2: Übersicht zu Tagesdosiswerten bei Modellgruppe 2 – Auswirkung verschiedener Druckkraftschwellen zwischen 2,0 und 12,0 kN auf die Tagesdosis (Dosismodelle 101 sowie 109 bis 113 und 203 bis 212)	70
Abbildung 5.1.3-3: Übersicht zu Tagesdosiswerten bei Modellgruppe 3 – Auswirkung verschiedener Rumpfvorneigungsschwellen zwischen 20 und 90° auf die Tagesdosis (Dosismodelle 101 sowie 114 bis 116)	72
Abbildung 5.1.3-4: Übersicht zu Tagesdosiswerten bei Modellgruppe 4 – Auswirkung der Einbeziehung bzw. Nicht-Berücksichtigung von Lastenhandhabungen außer Heben, Halten und Tragen auf die Tagesdosis (Dosismodelle 101 und 117)	73
Abbildung 5.1.3-5: Übersicht zu Tagesdosiswerten bei Modellgruppe 5 – Auswirkung der Variation von drei Eigenschaften im BSG-Modell im Vergleich zum Grundmodell	

(Dosismodelle 101 und 118), bezogen auf die für Männer erhobenen Daten (s. „M“ an Modellnummer).....	74
Abbildung 5.1.3-6: Übersicht zu Tagesdosiswerten für die Kombinationsmodelle der vier Fallgruppen – Auswirkung der Variation der Berechnungsart bei der Schätzung der Bandscheiben-Druckkraft via „Dortmunder“ (300er Modelle) bzw. via „Bestimmungsgleichungen“ (400er Modelle), jeweils bezogen auf die für Männer bzw. Frauen erhobenen Daten (s. „M“ oder „F“ an Modellnummer)	77
Abbildung 5.1.3-7: Übersicht zu Lebensdosiswerten bei Modellgruppe 1 – Auswirkung verschiedener Tagesdosisschwellen zwischen 0 und 10,0 kNh (Dosismodelle 101 bis 108 sowie 201 und 202) auf die Lebensdosis.....	85
Abbildung 5.1.3-8: Übersicht zu Lebensdosiswerten bei Modellgruppe 2 – Auswirkung verschiedener Druckkraftschwellen zwischen 2,0 und 12,0 kN (Dosismodelle 101 sowie 109 bis 113 und 203 bis 212) auf die Lebensdosis	87
Abbildung 5.1.3-9: Übersicht zu Lebensdosiswerten bei Modellgruppe 3 – Auswirkung verschiedener Rumpfvorneigungsschwellen zwischen 20 und 90° (Dosismodelle 101 sowie 114 bis 116) auf die Lebensdosis.....	89
Abbildung 5.1.3-10: Übersicht zu Lebensdosiswerten bei Modellgruppe 4 – Auswirkung der Einbeziehung bzw. Nicht-Berücksichtigung von Lastenhandhabungen außer Heben, Halten und Tragen (Dosismodelle 101 und 117) auf die Lebensdosis	90
Abbildung 5.1.3-11: Übersicht zu Lebensdosiswerten bei Modellgruppe 5 – Auswirkung der Variation von drei Eigenschaften im BSG-Modell im Vergleich zum Grundmodell (Dosismodelle 101 und 118), bezogen auf die für Männer erhobenen Daten (s. „M“ an Modellnummer), auf die Lebensdosis.....	91
Abbildung 5.1.3-12: Übersicht zu Lebensdosiswerten für die Kombinationsmodelle der vier Fallgruppen – Auswirkung der Variation der Berechnungsart bei der Schätzung der Bandscheiben-Druckkraft via „Dortmunder“ (300er Modelle) bzw. via „Bestimmungsgleichungen“ (400er Modelle), jeweils bezogen auf die für Männer bzw. Frauen erhobenen Daten (s. „M“ oder „F“ an Modellnummer), auf die Lebensdosis	92
Abbildung 5.1.3-13: Variation von Bandscheiben-Druckkräften (nach Jäger et al. 2011) – Häufigkeitsverteilungen (Linien) und statistische Kennwerte (eingefügte Tabellen) für die Anzahl von Belastungsvorgängen, die mit einer gewissen Druckkraft auf die lumbosakrale Bandscheibe einhergehen (Mittelwert: f_c ; Klassenbreite: 0,5 kN) bis	

zur Diagnosestellung bei Fällen bzw. bis zum TAD-Interview bei Kontrollen, für männliche und weibliche Probanden (linkes bzw. rechtes Diagramm).	95
Abbildung 5.1.4-1: Fallgruppe 1 (HA = NA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 29 Einzelmodelle zur Referenzdosis 301	112
Abbildung 5.1.4-2: Fallgruppe 1 (HA = NA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 29 Einzelmodelle zur Referenzdosis 401	112
Abbildung 5.1.4-3: Fallgruppe 2 (HA = NA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 19 Einzelmodelle zur Referenzdosis 303	113
Abbildung 5.1.4-4: Fallgruppe 2 (HA = NA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 19 Einzelmodelle zur Referenzdosis 403	113
Abbildung 5.1.4-5: Fallgruppe 3 (HA = NA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 30 Einzelmodelle zur Referenzdosis 301	114
Abbildung 5.1.4-6: Fallgruppe 3 (HA = NA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 30 Einzelmodelle zur Referenzdosis 401	114
Abbildung 5.1.4-7: Fallgruppe 4 (HA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 22 Einzelmodelle zur Referenzdosis 303	115
Abbildung 5.1.4-8: Fallgruppe 4 (HA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 22 Einzelmodelle zur Referenzdosis 403	115
Abbildung 5.1.4-9: Fallgruppe 4 (NA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 30 Einzelmodelle zur Referenzdosis 303	116
Abbildung 5.1.4-10: Fallgruppe 4 (NA): Schätzung der Odds Ratios: Modellmittelung der 30 Einzelmodelle zur Referenzdosis 403	116
Abbildung 5.2.2-1: Lineare Regression und Bestimmtheitsmaß für den Vergleich der Datensätze (TD_{Modell}) und ($TD_{\text{Formel}_{45}}$); Dosisangaben in N_h	123
Abbildung 5.2.2-2: Prozentuale Abweichungen der Wertepaare aus dem Vergleich der Datensätze (TD_{Modell}) und ($TD_{\text{Formel}_{45}}$)	124
Abbildung 5.2.2-3: Bland-Altman Diagramm zum Vergleich der Datensätze (TD_{Modell}) und ($TD_{\text{Formel}_{45}}$); Dosisangaben in N_h	124
Abbildung 5.2.2-4: Lineare Regression und Bestimmtheitsmaß für den Vergleich der Datensätze (TD_{Modell}) und ($TD_{\text{Formel}_{22}}$); Dosisangaben in N_h	125
Abbildung 5.2.2-5: Prozentuale Abweichungen der Wertepaare aus dem Vergleich der Datensätze (TD_{Modell}) und ($TD_{\text{Formel}_{22}}$)	126

Abbildung 5.2.2-6: Bland-Altman Diagramm zum Vergleich der Datensätze (TD _{Modell}) und (TD _{Formel_22}); Dosisangaben in Nh	126
Abbildung 5.2.2-7: Lineare Regression und Bestimmtheitsmaß für den Vergleich der Datensätze (TD _{Modell}) und (TD _{Formel_11}); Dosisangaben in Nh	127
Abbildung 5.2.2-8: Prozentuale Abweichungen der Wertepaare aus dem Vergleich der Datensätze (TD _{Modell}) und (TD _{Formel_11})	128
Abbildung 5.2.2-9: Bland-Altman Diagramm zum Vergleich der Datensätze (TD _{Modell}) und (TD _{Formel_11}); Dosisangaben in Nh	128
Abbildung 5.2.2-10: Bland-Altman-Diagramm mit Beschreibung von „Ausreißern“ (Grundlage: (TD _{Formel_11})); Dosisangaben in Nh	129
Abbildung 14-1: Erläuterung zur Ermittlung des Verdopplungsrisikos: Odds Ratio und relatives Risiko sowie kritisches Odds Ratio mit Risikoverdopplung	217
Abbildung 14-2: Ermittlung der Verdopplungsdosis durch Umkehrung der „Risikokurve“: FG1, Referenzdosismodell 401	218
 Tabelle 4.1.4-1: DWS-interne Erhebungsinzidenz	33
Tabelle 4.2.1-1: Oberkörperhaltungen (OK-Piktogramme) und zugeordnete Bandscheiben-Druckkräfte	37
Tabelle 4.2.1-3: Häufigkeiten von Belastungskategorien und Belastungskombinationen im „IfADo-Datensatz“	41
Tabelle 4.2.1-4: Beispiel: Kombinationen von OL-Piktogrammen bei symmetrischen, beidhändigen, körpernahen Hebevorgängen vom Boden (Lasthöhe 6) auf Kniehöhe (Lasthöhe 5)	43
Tabelle 5.1.1.-1: AIC-Werte für lineare (DM 7) versus quadratische (DM 5) Wichtung	53
Tabelle 5.1.2.-1: AIC-Werte für die drei bei quadratischer Wichtung der Druckkraft möglichen Grundmodelle DM 4, 5 und 6	56
Tabelle 5.1.2-2: Fallgruppe 1: AIC-Werte für unterschiedliche Ansätze der Schwellenwertprüfung, Hauptanalyse mit fraktionalen Polynomen 2. Grades, Sensitivitätsanalyse mit fraktionalen Polynomen 4. Grades, Dosismodelle 2 und 5. 95 %-Konfidenzmengen fett hervorgehoben (berechnet über Akaike-Gewichte)....	60

Tabelle 5.1.2-3: Fallgruppe 2: AIC-Werte für unterschiedliche Ansätze der Schwellenwertprüfung, Hauptanalyse mit fraktionalen Polynomen 2. Grades, Sensitivitätsanalyse mit fraktionalen Polynomen 4. Grades, Dosismodelle 2 und 5. 95 %-Konfidenzmengen fett hervorgehoben (berechnet über Akaike-Gewichte)....	61
Tabelle 5.1.2-4: Fallgruppe 3: AIC-Werte für unterschiedliche Ansätze der Schwellenwertprüfung, Hauptanalyse mit fraktionalen Polynomen 2. Grades, Sensitivitätsanalyse mit fraktionalen Polynomen 4. Grades, Dosismodelle 2 und 5. 95 %-Konfidenzmengen fett hervorgehoben (berechnet über Akaike-Gewichte)....	62
Tabelle 5.1.2-5: Fallgruppe 4: AIC-Werte für unterschiedliche Ansätze der Schwellenwertprüfung, Hauptanalyse mit fraktionalen Polynomen 2. Grades, Sensitivitätsanalyse mit fraktionalen Polynomen 4. Grades, Dosismodelle 2 und 5. 95 %-Konfidenzmengen fett hervorgehoben (berechnet über Akaike-Gewichte)....	63
Tabelle 5.1.3-1: Übersicht der separat variierten Eigenschaften der in der DWS-Richtwertstudie zunächst verwendeten 18 Dosismodelle (Nr. 101-118) zur Berechnung der Schichtdosis, ausgehend von den durch Fettdruck hervorgehobenen Eigenschaften des „Grundmodells“ 101, dessen Eigenschaften identisch mit denen von Dosismodell 5 der DWS1 sind	65
Tabelle 5.1.3-2: AIC-Werte der Haupt-(FP2) und Sensitivitätsanalyse (FP4); alle farbig markierten Werte bilden die 95 %-Konfidenzmenge, fett hervorgehoben sind die jeweiligen AIC Minima (Bestmodell)	80
Tabelle 5.1.3-3: Übersicht der separat variierten Eigenschaften der in der DWS-Richtwertstudie zusätzlich verwendeten 12 Dosismodelle (Nr. 201-212) zur Berechnung der Schichtdosis, ausgehend von den durch Fettdruck hervorgehobenen Eigenschaften des „Grundmodells“ 101 und der zunächst verwendeten Modelle der Modellgruppen 1 und 2 (Nr. 102-108 bzw. 109-113)	81
Tabelle 5.1.3-4: AIC-Werte der Haupt-(FP2) und Sensitivitätsanalyse (FP4): Erweiterung der Schwellen für Tagesdosis (0,5 kNh, 1,0 kNh) und Druckkraft (3,5 kN ... 12,0 kN); alle farbig markierten Werte bilden die 95 %-Konfidenzmenge, fett hervorgehoben sind die jeweiligen AIC Minima (Bestmodell).....	82
Fortsetzung Tabelle 5.1.3-4: AIC-Werte der Haupt-(FP2) und Sensitivitätsanalyse (FP4): Erweiterung der Schwellen für Tagesdosis (0,5 kNh, 1,0 kNh) und Druckkraft (3,5 kN ... 12,0 kN); alle farbig markierten Werte bilden die 95 %-Konfidenzmenge, fett hervorgehoben sind die jeweiligen AIC Minima (Bestmodell)	83

Tabelle 5.1.3-5: Fallgruppe 1 (Männer mit Prolaps), Modellgruppe 2 (Variation der Druckkraftschwellen): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades	98
Tabelle 5.1.3-6: Fallgruppe 1 (Männer mit Prolaps), drei Modellgruppen (Variation der Tagesdosis- und der Druckkraftschwellen sowie des Rumpfbeugewinkels und der Einbeziehung zusätzlicher Lastenhandhabungen (Ziehen etc.)): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades: Definition der Haupt- und Nebenanalyse.....	99
Tabelle 5.1.3-7: Fallgruppe 4 (Frauen mit Chondrose), Modellgruppe 2 (Variation der Druckkraftschwellen): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades	99
Tabelle 5.1.3-8: Fallgruppe 4 (Frauen mit Chondrose), drei Modellgruppen (Variation der Tagesdosis- und der Druckkraftschwellen sowie des Rumpfbeugewinkels und der Einbeziehung zusätzlicher Lastenhandhabungen (Ziehen etc.)): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades: keine Einschränkung der Variation der Druckkraftschwellen, Definition der Nebenanalyse	100
Tabelle 5.1.3-9: Fallgruppe 4 (Frauen mit Chondrose), drei Modellgruppen (Variation der Tagesdosis- und der Druckkraftschwellen sowie des Rumpfbeugewinkels und der Einbeziehung zusätzlicher Lastenhandhabungen (Ziehen etc.)): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades: Einschränkung der Variation der Druckkraftschwellen, Definition der Hauptanalyse	100
Tabelle 5.1.3-10: AIC-gewichtete Mittelwerte der Schwellen und Ableitung der Kombinationsdosismodelle	102
Tabelle 5.1.3-11: Übersicht der in Kombination variierten Eigenschaften der in der DWS-Richtwertestudie zusätzlich verwendeten acht Dosismodelle (Nr. 301-308) zur Berechnung der Schichtdosis in der „Hauptanalyse“ (nicht gesondert markiert) sowie in der „Nebenanalyse“ (Nr. 309 und 310), die nur für Fallgruppe 4 von den Ergebnissen zur Hauptanalyse abweicht	103
Tabelle 5.1.3-12: Übersicht der in Kombination variierten Eigenschaften der in der DWS-Richtwertestudie zusätzlich verwendeten acht Dosismodelle (Nr. 401-408) zur Berechnung der Schichtdosis in der „Hauptanalyse“ (nicht gesondert markiert) sowie in der „Nebenanalyse“ (Nr. 409 und 410), die nur für Fallgruppe 4 von den	

Ergebnissen zur Hauptanalyse abweicht; die Eigenschaften sind identisch mit den Dosismodellen 301 bis 310, <i>verschieden</i> ist die Druckkraft-Schätzung via „Bestimmungsgleichungen“ anstatt via „Der Dortmunder“	104
Tabelle 5.1.3-13: Bestimmung von Referenzdosen: $2 \cdot 14 = 28$ Analysen	105
Tabelle 5.1.3-14: Modellranking der Kombinationsmodelle	106
Fortsetzung Tabelle 5.1.3-14: Modellranking der Kombinationsmodelle	107
Tabelle 5.1.3-15: Entwicklung der Anzahlen der Tages- und somit Lebensdosismodelle zur Ableitung der Verdopplungsdosen	110
Tabelle 5.1.4-1: Verdopplungsdosen in MNh (in Klammern: Grenzen des 95 %-Konfidenzintervalls, soweit bestimmbar)	118
Tabelle 5.2.1-1: Bestimmungsgleichungen zum beidhändigen Heben/Absenken/Umsetzen von Lasten, Schreibweise analog MDD (Hartung et al. 1999) in der Form $F = b + m \cdot L$ mit F = Bandscheiben-Druckkraft L5/S1 [N], b = Komponente der Oberkörperhaltung, m = Lastgewichtskomponente; L = Masse des Lastobjekts [kg]; „von“ = Rumpfhaltung in Ausgangsposition, „nach“ = Rumpfhaltung in Endposition	119
Tabelle 5.2.1-2: Faktoren für einhändig, körperfern oder asymmetrisch durchgeführte Hebe-/Absenk-/Umsetz-Vorgänge	120
Tabelle 5.2.1-3: Bestimmungsgleichungen zum Tragen von Lasten; Schreibweise analog MDD (Hartung et al. 1999) in der Form $F = b + m \cdot L$ mit F = Bandscheiben-Druckkraft L5/S1 [N], b = Komponente der Oberkörperhaltung, m = Lastgewichtskomponente; L = Masse des Lastobjekts [kg].....	121
Tabelle 5.2.1-4: Bestimmungsgleichungen zum Halten von Lasten; Schreibweise analog MDD (Hartung et al. 1999) in der Form $F = b + m \cdot L$ mit F = Bandscheiben-Druckkraft L5/S1 [N], b = Komponente der Oberkörperhaltung, m = Lastgewichtskomponente; L = Masse des Lastobjekts [kg].....	122
Tabelle 5.2.3-1: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in Tonnen*Sekunden [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	130
Tabelle 5.2.3-2: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen,	

unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in Tonnen*Sekunden [t*s].	131
Tabelle 5.2.3-3: Durchschnittliche Jahreswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)	132
Tabelle 5.2.3-4: Durchschnittliche Tageswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [kg*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	132
Tabelle 5.2.3-5: Durchschnittliche Tageswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [kg*s].	133
Tabelle 5.2.3-6: Durchschnittliche Tageswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [kg*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)	133
Tabelle 5.2.3-7: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Tragen von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen Angaben in Tonnen*Sekunden [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	134
Tabelle 5.2.3-8: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Tragen von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in Tonnen*Sekunden [t*s].	135
Tabelle 5.2.3-9: Durchschnittliche Jahreswerte für das Tragen von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in Tonnen*Sekunden [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)	135
Tabelle 5.2.3-10: Durchschnittliche Tageswerte für das Tragen von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [kg*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	136
Tabelle 5.2.3-11: Durchschnittliche Tageswerte für das Tragen von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [kg*s].	136

Tabelle 5.2.3-12: Durchschnittliche Tageswerte für das Tragen von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [kg*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen).....	137
Tabelle 5.2.3-13: Gesamtübersicht „Lastenhandhabung“: Vorkommen, durchschnittliche Jahres- und Tageswerte in fünf Kategorien über alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe; [t*s] = Tonnen*Sekunden).....	138
Tabelle 5.2.3-14: Gesamtübersicht „Lastenhandhabung“: Vorkommen, durchschnittliche Jahres- und Tageswerte in fünf Kategorien für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/ KGw 3); [t*s] = Tonnen*Sekunden	139
Tabelle 5.2.3-15: Gesamtübersicht „Lastenhandhabung“: Durchschnittliche Jahres- und Tageswerte in fünf Kategorien für alle DWS-Kontrollen. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen); [t*s] = Tonnen*Sekunden	140
Tabelle 5.2.3-16: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 45^\circ$ “ für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [h]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	141
Tabelle 5.2.3-17: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 45^\circ$ “ für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [h].	142
Tabelle 5.2.3-18: Durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 45^\circ$ “ für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [h]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen).....	142
Tabelle 5.2.3-19: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfbeugen $\geq 45^\circ$ “ für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	143
Tabelle 5.2.3-20: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfbeugen $\geq 45^\circ$ “ für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [s].	143

Tabelle 5.2.3-21: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfbeugen $\geq 45^\circ$ “ für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen).....	144
Tabelle 5.2.3-22: Gesamtübersicht „Rumpfbeugen“: Vorkommen, durchschnittliche Jahres- und Tageswerte in drei Kategorien über alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	145
Tabelle 5.2.3-23: Gesamtübersicht „Rumpfbeugen“: Vorkommen, durchschnittliche Jahres- und Tageswerte in drei Kategorien für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3)	146
Tabelle 5.2.3-24: Gesamtübersicht „Rumpfbeugen“: Durchschnittliche Jahres- und Tageswerte in drei Kategorien für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [kg*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen) 146	
Tabelle 7.1.2-1: Anteil der Fälle und Kontrollen mit abgeschätzten Dosiswerten (für „nicht belastete“ und „gering belastete“ Probanden) und individuell ermittelten Dosiswerten (für Probanden mit Überschreitung einer definierten Auslöseschwelle)	159
Tabelle 7.1.3-1: Odds Ratios bei Erreichen/Überschreiten eines Lebensdosiswertes von 12,5 MNh gemäß BSG-Modell (Männer mit Prolaps einzeln und kombiniert)	166
Tabelle 7.1.4-1: Häufigkeit der Überschreitung einer Gesamtdosis von 7, 10, 18, 30 und 56 MNh bei Männern (ausgehend von dem Referenzdosismodell mit der Datengrundlage des „Dortmunders“) mit Angabe der Odds Ratios für Prolaps und Chondrose kombiniert (Fallgruppen 1 und 3). (F = Fälle, K = Kontrollen, adjustierte OR = für Alter und Region adjustierte Odds Ratios, 95%-CI = 95 %-Konfidenzintervall)	173
Tabelle 7.1.4-2: Häufigkeit der Überschreitung einer Gesamtdosis von 7, 10, 18, 30 und 56 MNh bei Männern (ausgehend von dem Referenzdosismodell mit der Datengrundlage der Bestimmungsgleichungen) mit Angabe der Odds Ratios für Prolaps und Chondrose kombiniert (Fallgruppe 1 und 3).	174
Tabelle 7.1.4-3: Häufigkeit der Überschreitung einer Gesamtdosis von 3, 4 ½, 8 ½, 14 und 24 ½ MNh bei Frauen (ausgehend von dem „Referenzdosismodell“ auf der Grundlage des „Dortmunders“) mit Angabe der Odds Ratios für Prolaps und Chondrose kombiniert (Fallgruppen 2 und 4).	176

Tabelle 7.1.4-4: Häufigkeit der Überschreitung einer Gesamtdosis von 3, 4 ½, 8 ½, 14 und 24 ½ MNh bei Frauen (ausgehend von dem „Referenzdosismodell“ auf der Grundlage der Bestimmungsgleichungen) mit Angabe der Odds Ratios für Prolaps und Chondrose kombiniert (Fallgruppen 2 und 4).	177
Tabelle 14-1: Fallgruppe 2 (Frauen mit Prolaps), Modellgruppe 2 (Variation der Druckkraftschwellen): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades	219
Tabelle 14-2: Fallgruppe 2 (Frauen mit Prolaps), drei Modellgruppen (Variation der Tagesdosis- und der Druckkraftschwellen sowie des Rumpfbeugewinkels und der Art der Lastenhandhabung): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades: Definition der Haupt- und Nebenanalyse.....	219
Tabelle 14-3: Fallgruppe 3 (Männer mit Chondrose), Modellgruppe 2 (Variation der Druckkraftschwellen): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades	220
Tabelle 14-4: Fallgruppe 3 (Männer mit Chondrose), drei Modellgruppen (Variation der Tagesdosis- und der Druckkraftschwellen sowie des Rumpfbeugewinkels und der Art der Lastenhandhabung): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades: keine Einschränkung der Variation der Druckkraftschwellen, Definition der Nebenanalyse	220
Tabelle 14-5: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	221
Tabelle 14-6: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [t*s].....	222
Tabelle 14-7: Durchschnittliche Jahreswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)	222
Tabelle 14-8: Durchschnittliche Tageswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und	

Kontrollgruppen. Angaben in [kg*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	223
Tabelle 14-9: Durchschnittliche Tageswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten (Männer $\geq$ 20 kg, Frauen $\geq$ 10 kg) für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [kg*s].	223
Tabelle 14-10: Durchschnittliche Tageswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten (Männer $\geq$ 20 kg, Frauen $\geq$ 10 kg) für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [kg*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)	224
Tabelle 14-11: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Tragen von Lasten (Männer $\geq$ 20 kg, Frauen $\geq$ 10 kg) für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	224
Tabelle 14-12: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Tragen von Lasten (Männer $\geq$ 20 kg, Frauen $\geq$ 10 kg) für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [t*s].	225
Tabelle 14-13: Durchschnittliche Jahreswerte für das Tragen von Lasten (Männer $\geq$ 20 kg, Frauen $\geq$ 10 kg) für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)	225
Tabelle 14-14: Durchschnittliche Tageswerte für das Tragen von Lasten (Männer $\geq$ 20 kg, Frauen $\geq$ 10 kg) für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [kg*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	226
Tabelle 14-15: Durchschnittliche Tageswerte für das Tragen von Lasten (Männer $\geq$ 20 kg, Frauen $\geq$ 10 kg) für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [kg*s].	226
Tabelle 14-16: Durchschnittliche Tageswerte für das Tragen von Lasten (Männer $\geq$ 20 kg, Frauen $\geq$ 10 kg) für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [kg*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)	227
Tabelle 14-17: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Halten von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [t*s].	

(FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	227
Tabelle 14-18: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Halten von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [t*s].	228
Tabelle 14-19: Durchschnittliche Jahreswerte für das Halten von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)	228
Tabelle 14-20: Durchschnittliche Tageswerte für das Halten von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [kg*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	228
Tabelle 14-21: Durchschnittliche Tageswerte für das Halten von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [kg*s].	229
Tabelle 14-22: Durchschnittliche Tageswerte für das Halten von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [kg*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)	229
Tabelle 14-23: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Ziehen von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	230
Tabelle 14-24: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Ziehen von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [t*s].	230
Tabelle 14-25: Durchschnittliche Jahreswerte für das Ziehen von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)	231
Tabelle 14-26: Durchschnittliche Tageswerte für das Ziehen von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	231

Tabelle 14-27: Durchschnittliche Tageswerte für das Ziehen von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [t*s].....	231
Tabelle 14-28: Durchschnittliche Tageswerte für das Ziehen von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen).....	232
Tabelle 14-29: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Schieben von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe).....	232
Tabelle 14-30: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Schieben von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [t*s].	233
Tabelle 14-31: Durchschnittliche Jahreswerte für das Schieben von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen).....	233
Tabelle 14-32: Durchschnittliche Tageswerte für das Schieben von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	233
Tabelle 14-33: Durchschnittliche Tageswerte für das Schieben von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [t*s].....	234
Tabelle 14-34: Durchschnittliche Tageswerte für das Schieben von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen).....	234
Tabelle 14-35: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 75^\circ$ “ für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [h]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	235
Tabelle 14-36: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 75^\circ$ “ für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [h].	236

Tabelle 14-37: Durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 75^\circ$ “ für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [h]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen).....	236
Tabelle 14-38: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfbeugen $\geq 75^\circ$ “ für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe) 237	
Tabelle 14-39: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfbeugen $\geq 75^\circ$ “ für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [s].	237
Tabelle 14-40: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfbeugen $\geq 75^\circ$ “ für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen).....	238
Tabelle 14-41: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 90^\circ$ “ für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [h]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)	238
Tabelle 14-42: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 90^\circ$ “ für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [h].	239
Tabelle 14-43: Durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 90^\circ$ “ für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [h]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen).....	239
Tabelle 14-44: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfbeugen $\geq 90^\circ$ “ für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe) 240	
Tabelle 14-45: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfbeugen $\geq 90^\circ$ “ für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [s].	240
Tabelle 14-46: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfbeugen $\geq 90^\circ$ “ für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen).....	240

Tabelle 14-47a: Häufigkeit der Überschreitung einer Gesamtdosis von 7, 10, 18, 30 und 56 MNh bei Männern (ausgehend von dem Referenzdosismodell mit der Datengrundlage des „Dortmunders“) mit Angabe der Odds Ratios (F = Fälle, K = Kontrollen, adjustierte OR = für Alter und Region adjustierte Odds Ratios, 95 %-CI = 95 %-Konfidenzintervall).....	241
Tabelle 14-47b: Häufigkeit der Überschreitung einer Gesamtdosis von 3, 4,5, 8,5, 14 und 24,5 MNh bei Frauen (ausgehend von dem Referenzdosismodell mit der Datengrundlage des „Dortmunders“) mit Angabe der Odds Ratios (F = Fälle, K = Kontrollen, adjustierte OR = für Alter und Region adjustierte Odds Ratios, 95 %-CI = 95 %-Konfidenzintervall).....	242
Tabelle 14-48: Arbeitspakete der DWS-Richtwertestudie nach beteiligten Institutionen	243

11 Aktueller Umsetzungs- und Verwertungsplan

Mit der vorliegenden Abschätzung der Verdopplungsdosis-Werte bei Bandscheibenbedingten Erkrankungen der Lendenwirbelsäule (im Sinne von „Best Estimates“) sind die Berechnungen zum Dosis-Wirkungs-Zusammenhang in der Deutschen Wirbelsäulenstudie als nahezu abgeschlossen anzusehen. Als offene, mit den Daten der Deutschen Wirbelsäulenstudie gegebenenfalls noch zu beantwortende Forschungsfrage imponiert die Frage nach der Bedeutung asymmetrischer Belastungsanteile (seitliche Scherkräfte sowie Beuge- und Torsionsmomente) für das Bandscheiben-Erkrankungsrisiko. Die vorliegende vertiefende Reanalyse der Daten der Deutschen Wirbelsäulenstudie kann die Grundlage für eine verbesserte Bewertung der arbeitstechnischen Voraussetzungen der Berufskrankheit Nr. 2108 BKV bilden. Die Bewertung der arbeitstechnischen Voraussetzungen kann sich zukünftig auf eine größere Zahl von Bestimmungsgleichungen zur Abschätzung der Bandscheiben-Druckkraft stützen, die im Rahmen der vorliegenden DWS-Richtwertestudie entwickelt und hinsichtlich ihrer Fähigkeit zur Abbildung von Dosis-Wirkungs-Zusammenhängen überprüft wurden. Die Festsetzung konkreter Richtwerte selbst war nicht Bestandteil des Projektes, da diese Gegenstand sozialpolitischer Diskussionen im Anschluss an diese Studie sein werden. Dennoch liefert die DWS-Richtwertestudie zu diesem Thema wertvolle Hinweise, die in eine solche Diskussion einfließen können. Die Autor/innen dieses Berichts sagen für diesen nachfolgenden Prozess der Entwicklung geeigneter Richtwerte ihre Unterstützung zu.

12 Kurzfassung (deutsch) für DGUV-Internetdatenbank

Aus den Ergebnissen der Deutschen Wirbelsäulenstudie (DWS) – die die Basis der hier vorgestellten DWS-Richtwertestudie darstellt – 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 seinerzeit verwendeten Dosismodellen wurden die Schwellenwerte zu Bandscheiben-Druckkraft, Rumpfvorneigung und Tagesdosis nicht getrennt voneinander, sondern in Kombination variiert. Daher erlaubten die bisherigen Auswertungen der DWS keine Aussage zu Dosismodellen, die durch definierte Absenkung einzelner Eigenschaften des MDD – bspw. der Druckkraft – bei Beibehaltung der übrigen Eigenschaften des MDD gekennzeichnet sind.

Innerhalb der hier vorgestellten DWS-Richtwertestudie wurden in Sensitivitätsanalysen zunächst zwei grundsätzliche Aspekte des MDD bei der Berechnung von Tagesdosen bestätigt: [a] quadratische Wichtung der Druckkraft relativ zur Einwirkungsdauer (im Vergleich zu einem linearen Ansatz mit gleicher Wichtung) sowie [b] Einbeziehung des gesamten Druckkraftwertes bei der Dosiskumulation im Vergleich zu Ansätzen, bei denen nur Anteile als risikorelevant angesehen werden (oberhalb Schwellenwert bzw. oberhalb Grundbelastung im Stehen).

Darüber hinaus hat die Reanalyse der DWS-Daten auf Basis von kontinuierlichen Expositionswerten (anstelle von kategorisierten in der DWS) einen Anstieg des Erkrankungsrisikos mit Zunahme der Lebensdosis für alle vier Fallgruppen bestätigt.

Im ersten Projektteil der vorliegenden DWS-Richtwertestudie werden die Schwellenwerte (Druckkraft, Rumpfvorneigung, Tagesdosis) einzeln und anschließend auch kombiniert variiert; dabei wird die Anpassungsgüte der resultierenden Dosismodelle zur Beschreibung des Dosis-Wirkungs-Zusammenhanges auf der Grundlage der kontinuierlichen Dosiswerte anstelle klassierter Daten in der DWS und unter Einsatz verschiedener statistischer Methoden (z. B. Akaike Information Criterion (AIC), Multi-Modell-Ansätze, fraktionale Polynome) ermittelt. Im zweiten Projektteil wird der Frage nachgegangen, inwieweit sich die gefundenen am besten anpassenden Modelle mit möglichst einfachen Bestimmungsgleichungen zur retrospektiven Abschätzung der Bandscheiben-Druckkraft abbilden lassen.

Den Ergebnissen der DWS-Richtwertestudie zufolge führt insbesondere eine Verringerung der vom MDD vorgesehenen Schwellen bezüglich der Tagesdosis (von 5,5 auf 2,0 kNh bei Männern und von 3,5 auf 0,5 kNh bei Frauen) und der Rumpfneigung (von 90° auf 45°

Rumpfvorneigungswinkel) zu einer verbesserten Abbildung der Bandscheiben-Erkrankungsrisiken, während die im MDD vorgesehenen geschlechtsspezifischen Schwellen bezüglich der Bandscheiben-Druckkraft (3,2 kN für Männer, 2,5 kN für Frauen) im Ergebnis der vorliegenden Studie im Sinne von „Best Estimates“ bestätigt wurden und daher als wissenschaftlich vertretbar gelten können. Weiterhin erweisen sich auch im Ergebnis unserer vertiefenden Reanalyse der DWS-Daten die vom MDD vorgesehenen Schwellen für die kumulative Lebensdosis als zu hoch; es ergibt sich auf der Grundlage der angegebenen Schwellenwert-Modifikationen – wenn auch unter dem Vorbehalt einer Unsicherheit dieses Punktschätzers – eine Verdopplungsdosis des Bandscheiben-Erkrankungsrisikos von etwa 7 MNh bei Männern und etwa 3 MNh bei Frauen im Sinne von „Best Estimates“. Ca. ein Drittel der Allgemeinbevölkerung erreicht oder überschreitet diese genannten Lebensdosiswerte. Neben den gewonnenen statistisch-epidemiologischen Erkenntnissen müssen in die Entwicklung geeigneter Richtwerte auch Aspekte der biologischen Plausibilität, der praktischen Handhabbarkeit und der Existenz geeigneter „Messinstrumente“ einbezogen werden. Als weiteres wesentliches Forschungsergebnis mit hoher praktischer Relevanz für die gesetzliche Unfallversicherung ist die Entwicklung neuer Bestimmungsgleichungen zur retrospektiven Abschätzung der Druckkräfte für „gewöhnliche“ Hebe-, Trage-, Halte-, Absetz- und Umsetztätigkeiten anzusehen: Diese Bestimmungsgleichungen sind als wissenschaftlich gut abgesichert anzusehen, denn mit Ihrem Einsatz lassen sich die Kernergebnisse der vorliegenden Reanalyse gut reproduzieren. Weiterhin sind diese Bestimmungsgleichungen trotz ihrer erhöhten Komplexität im Vergleich mit den bisher im BK-Ermittlungsverfahren eingesetzten Bestimmungsgleichungen als praxistauglich anzusehen.

13 Kurzfassung (englisch)

The EPILIFT study – which constitutes the basis of the present “DWS-Richtwertestudie” – led to the fundamental conclusion that the risk for the development of lumbar disc diseases is elevated even when physical workload lies below specific threshold values of the Mainz Dortmund Dose Model (MDD). In the “original” EPILIFT study, dose models, threshold values for lumbar-disc compressive force, the degree of forward bending and for the daily dose were not varied separately, but in combination. However, to date the consequences on the model fit are unknown if single thresholds of the MDD are separately lowered – leaving other thresholds unchanged.

Two fundamental aspects of the MDD approach could be confirmed in the present investigation: a) squared weighting of the lumbar-disc compressive force in relation to the duration of exposure and b) the inclusion of the whole amount of compressive force (versus considering only the compressive force above defined thresholds or above the compressive force when standing). Moreover, this reanalysis of the EPILIFT data based on continuous (instead of categorized in the original EPILIFT study) exposure variables confirmed a positive relationship between lifetime exposure and lumbar disc disease for the considered four case groups.

In part 1) of this in-depth analysis of the original EPILIFT study (“DWS-Richtwertestudie”), lumbar-disc compressive force, degree of forward bending, and daily dose are changed separately (and afterwards simultaneously). Model fit is considered based on continuous (instead of categorized) exposure variables, applying several new statistical methods (Akaike Information Criterion AIC; fractional polynomials; multi model approaches). In part 2) of this study, the fit of simplified procedures is analyzed, that are applicable in practice.

As a result of this in-depth analysis, lowering the daily dose thresholds (from 5.5 to 2 kNh among men and from 3.5 to $\frac{1}{2}$ kNh among women) as well as the threshold for the degree of forward bending (from 90 to 45 degree of forward bending) improved the MDD model fit. The threshold values for the lumbar-disc compressive force could be confirmed as “best estimates” and therefore appear scientifically justifiable. As a further result of these threshold variations, the cumulative lifetime thresholds of the MDD appear considerably too high, however, methodological uncertainties have to be taken into consideration; this study in fact reveals as “best estimate” a doubling dose for lumbar disc diseases of about 7 MNh among men and 3 MNh among women. About 30 % of population reach or exceed these dose levels. When appropriate threshold values are to be established for use in recognition praxis, besides statistical-epidemiological knowledge also biological plausibility, practicability and the existence of appropriate measurement instruments has to be considered.

As a further important result with a high practical impact for the Social Accident Insurance, our study establishes a practicable procedure (basing on a set of 11 formulas) for the retrospective assessment of compression forces for regular lifting, carrying, holding, depositing, and transfer activities on the lumbar spine. This procedure appears to be scientifically valid as the core results of our part 1) analysis can be reproduced when applying the mentioned formulas. Therefore, we regard this procedure as appropriate for the practical assessment of physical exposure with respect to the German occupational disease No. 2108.

14 Anhang

1.	Weiterführende Informationen zur Multi-Modell-Analyse.....	214
2.	Beschreibung der Ermittlung von Verdopplungsdosen und zugehöriger Konfidenzintervalle	216
3.	Tabellen zur den AIC-Rankings für die Modelle in den Fallgruppen 2 (Frauen mit Prolaps) und 3 (Männer mit Chondrose)	219
4.	Analyse von Einzelbelastungen.....	221
5.	Häufigkeit der Überschreitung ausgewählter Gesamtdosen bei Männern und Frauen	241
6.	Darstellung der von den einzelnen Studienzentren übernommenen Aufgaben	243

1. Weiterführende Informationen zur Multi-Modell-Analyse

Der hier vorgelegte Text knüpft an die Ausführungen in Kapitel 4.1.4.1 an. Zunächst werden die dort eingeführten Begrifflichkeiten noch einmal erläutert, um ein eigenständiges Lesen des vorliegenden Textes zu ermöglichen.

Multi-Modell-Analyse

Die Modell-Mittelung erfolgte getrennt für die vier betrachteten Fallgruppen und auch getrennt für die insgesamt drei Modellgruppen, die durch die Variation der Tagesdosischwelle, der Druckkraftschwelle und des Rumpfbeugewinkels definiert sind.

Als Ausgangsmengen der Multi-Modell-Mittelung werden gleichzeitige 95 %- Konfidenzmengen aus fraktionalen Polynomen 2. und 4. Grades jeweils zu den verschiedenen Modellgruppen und pro Fallgruppe identifiziert (inkl. der Modelle, die eine AIC-Differenz zum Bestmodell von höchstens 2 zeigen). Diese Ausgangsmengen werden abschließend pro Fallgruppe zu einer finalen Modellklasse, die die 95 %-Modellkonfidenzmengen der drei Modellgruppen umfasst, vereint.

Zur Mittelung der so erhaltenen finalen Modellklassen wird die Vorgehensweise nach Burnham und Anderson (2002, S. 448 f.) gewählt.

Nach Burnham und Anderson erfolgt eine Mittelung der Expositionsmodellkoeffizienten und ihrer Varianzen mittels der Akaike-Gewichte. Dabei ist das Akaike-Gewicht zu Modell (in der DWS-Richtwertestudie: Dosismodell) definiert als

$$w_i = \exp(-\Delta AIC_i) / \sum \exp(-\Delta AIC_j)$$

Durch die Exponentialfunktion im Akaike-Gewicht wird sichergestellt, dass Modelle mit großem ΔAIC , d. h. einem großen Abstand zum „Bestmodell“, nur in vernachlässigbarer Weise in die Mittelung eingehen, was einem Ausschluss praktisch gleichkommt.

Bei Dosis-Risiko-Funktionen, die die Dosiskomponente nicht durch einen einzelnen Koeffizienten beschreiben, sondern durch mehrere (z. B. fraktionale Polynome), wird der lineare Prädiktor des Modells an Stelle des einzelnen Koeffizienten gemittelt. Dies stellt eine natürliche Verallgemeinerung der Koeffizientenmittelung dar. Die Kovariablen werden zuvor auf feste Werte gesetzt, so dass der lineare Prädiktor nicht mit den unterschiedlichen Kovariablenwerten der Studienteilnehmer variiert, sondern nur mit der Lebensdosis.

Da unterschiedliche Schätzer für die Lebensdosis existieren, ist eine Referenzdosis festzulegen, über der die Ergebnisse der Mittelung dargestellt und diskutiert werden (das Mittelungs-

verfahren kann über beliebigen Referenzdosen eingesetzt werden, zur Auswahl der Referenzdosis siehe unten „Referenzdosis“).

Konkret erfolgt die Multi-Modell-Analyse in drei Schritten:

1. In einem ersten Schritt werden die linearen Prädiktoren aus den zu mittelnden Modellen und ihre Varianzen innerhalb jeder Stützstelle (Person) gemittelt. Denn an jeder Stützstelle ist die Transformation der Dosen aus unterschiedlichen Modellen eindeutig, weshalb der mittlere lineare Prädiktor und seine Varianz eindeutig auf die Referenzdosis an der Stützstelle bezogen werden können.
2. Zur Darstellung der Ergebnisse über der Referenzdosis werden in einem zweiten Schritt die aus den Prädiktoren durch Exponenzieren abgeleiteten OR-Schätzungen auf den OR-Wert einer festen Referenzperson bezogen. Diese Referenzperson wird so gewählt, dass ihre Referenzdosis Null ist (nach Möglichkeit sollte die Referenzperson in allen Dosisvariablen auf Null stehen, zu denen die Mittelung erfolgt). Somit ergibt sich für diese Person und in der Modellmittelung (und falls möglich, in allen zu mittelnden Modellen) ein $OR = 1$ bei einer Referenzdosis von 0.
3. Da die gemittelten OR-Schätzer zwischen verschiedenen Personen mit derselben Referenzdosis variieren können, werden in einem dritten Schritt die mittleren Prädiktoren und ihre zugehörigen Varianzen zusätzlich mit fraktionalen Polynomen 4. Grades geeignet geglättet. Die Darstellung der Ergebnisse über der Referenzdosis wird wieder auf die festgelegte Referenzperson bezogen. Es ergeben sich Referenzdosis-OR-Kurven zur Beschreibung des quantitativen Zusammenhangs von kumulativer Lebensdosis und Erkrankungsprävalenz. Neben diesen Punktschätzern werden Intervallschätzer erstellt (Kurven zur Beschreibung des 95 %-Konfidenzintervalls). Die Schätzung der Exponenten bleibt in der Ermittlung der Intervallschätzer unberücksichtigt. Die Intervalle sind daher tendenziell zu eng (ggf. kann in Einzelfällen zur Abschätzung des Fehlers ein Bootstrap-Verfahren eingesetzt werden, vgl. Royston und Sauerbrei 2008).

2. Beschreibung der Ermittlung von Verdopplungsdosen und zugehöriger Konfidenzintervalle

Verdopplungsdosen sind die Lebensdosiswerte, die mit einer Verdopplung des Risikos einhergehen, d. h. es gilt: Verdopplung der Basisprävalenz p_0 bei Dosis = 0 auf $p_1 = 2 \cdot p_0$ bei Dosis = Verdopplungsdosis.

Im Folgenden wird die Punktschätzung und 0,95-Intervallschätzung der „Verdopplungsdosen“ D_{kritp_0} erläutert. D_{kritp_0} ist abhängig von der Referenzdosis D und Basisprävalenz p_0 bei $D = 0$, der Fallgruppe FG und zugehöriger FP4-geglätteter Multi-Modell-Mittelungskurve M mit 0,95-CI-Schätzungen $M95_lo$ sowie $M95_hi$ zur geglätteten Mittelungskurve.

Die Verdopplungsdosen werden in drei Schritten bestimmt.

1) Wahl der Prävalenz p_0 bei $D = 0$: vorgegebene Werte $p_0 = 0$ und $0,05$

2) Bestimmung des kritischen ORs: **ORKrit` p_0** , mit dem vorgegebenen Wert von p_0 in % in den Namen eingesetzt

Es gilt: $RR = OR/[1-(1-OR)p_0]$, $OR = (1-p_0)/(1/RR-p_0)$

Beweis: $RR =_{\text{def}} p_1/p_0$, d. h., $p_1 = RR \cdot p_0$

$OR =_{\text{def}} [p_1/(1-p_1)]/[p_0/(1-p_0)]$

Anmerkung: Begriffe erfordern $0 < p_0, p_1 < 1$, d. h., es gilt $RR, OR > 0$

$OR = [RR \cdot p_0 / (1 - RR \cdot p_0)] / [p_0 / (1 - p_0)]$

$= [RR / (1 - RR \cdot p_0)] / [1 / (1 - p_0)]$

$= [(1 - p_0)RR] / [1 - RR \cdot p_0]$

$= (1 - p_0) / (1/RR - p_0)$

Anwendung im BK-Recht: Morfeld und Piekarski (1996, vgl. S. 100).

Für $RR = 2$ folgt:

$ORKritp_0 = (1 - p_0) / (1/2 - p_0)$, z. B. **$ORKrit_0 = 2$** , **$ORKrit'2' = 2.67$** (vergl. Abbildung 14-1)

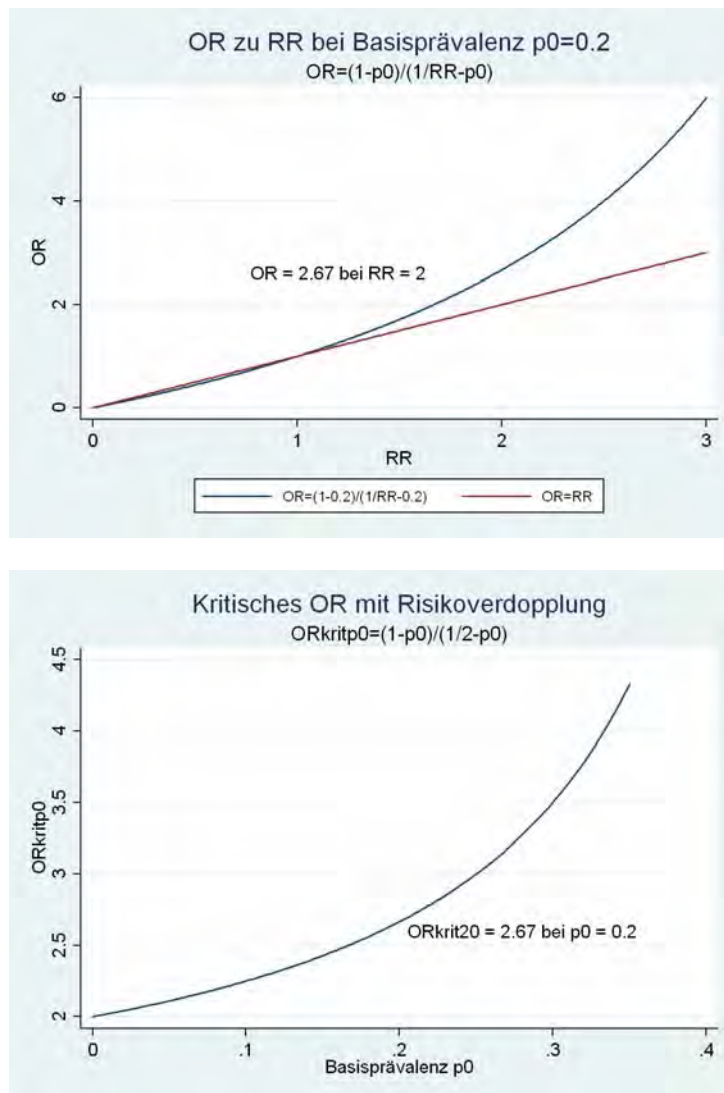


Abbildung 14-1: Erläuterung zur Ermittlung des Verdopplungsrisikos: Odds Ratio und relatives Risiko sowie kritisches Odds Ratio mit Risikoverdopplung

3) Ermittlung der Verdopplungsdosen D_{kritp_0}

Suche Schnittpunkte der Parallelen $OR = OR_{kritp_0}$ mit der Kurve M. Starte diese Suche ab einer definierten Minstdosis von 0,5 MNh. Diese Minstdosis schließt irreguläre Kurvenverläufe im Niedrigdosisbereich von der Analyse aus. Bestimme die niedrigsten Dosen D_{kritp_0} , die zu diesen Schnittpunkten gehören.

Suche Schnittpunkte der Parallelen $OR = OR_{kritp_0}$ mit den Konfidenzkurven M95_hi und M95_lo. Starte diese Suche ab einer definierten Minstdosis von 0,5 MNh. Bestimme die niedrigsten Dosen $D_{kritp_0_95lo}$, $D_{kritp_0_95hi}$ bzw. die zu diesen Schnittpunkten gehören. Damit ergeben sich als Schätzwerte für die Verdopplungsdosen (Punkt- und Intervallschätzer) für die p_0 nach 1): **OR_{kritp_0} : D_{kritp_0} , 0,95-CI: $D_{kritp_0_95lo}$, $D_{kritp_0_95hi}$** . Abbildung 14-2 illustriert das geschilderte Vorgehen zur Ermittlung der Verdopplungsdosis (bei $OR = 2$)

und des zugehörigen 95 %-Konfidenzintervalls am Beispiel der Fallgruppe 1. Es ergibt sich ein Punktschätzer für die gesuchte Verdopplungsdosis von 0,75 MNh mit einem Konfidenzintervall von 0,97 MNh – 22,6 MNh.

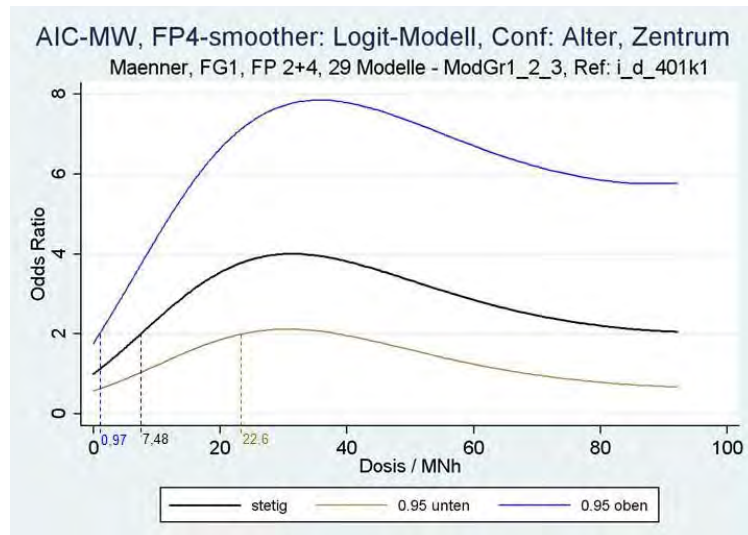


Abbildung 14-2: Ermittlung der Verdopplungsdosis durch Umkehrung der „Risikokurve“: FG1, Referenzdosismodell 401

3. Tabellen zur den AIC-Rankings für die Modelle in den Fallgruppen 2 (Frauen mit Prolaps) und 3 (Männer mit Chondrose)

Tabelle 14-1: Fallgruppe 2 (Frauen mit Prolaps), Modellgruppe 2 (Variation der Druckkraftschwellen): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades

Schwelle							
Modelltyp	/ N	FP	Rang	AIC	d_AIC	AIC_95	
i_d_110k1	2450	4	1	943,178711	0		1
i_d_109k1	2200	4	2	944,086426	0,907715		1
i_d_112k1	2950	4	3	944,17627	0,997559		1
i_d_113k1	3200	4	4	944,788391	1,60968		1
i_d_111k1	2700	4	5	944,864563	1,685852		1
i_d_101k1	1950	4	6	945,884155	2,705444		1
i_d_110k1	2450	2	7	946,279724	3,101013		1
i_d_109k1	2200	2	8	946,651733	3,473022		1
i_d_111k1	2700	2	9	947,738586	4,559875		1
i_d_101k1	1950	2	10	947,946289	4,767578		1
i_d_112k1	2950	2	11	948,025024	4,846313		1
i_d_113k1	3200	2	12	948,652588	5,473877		1
i_d_203k1	3450	4	13	949,24823	6,069519		
i_d_206k1	4950	4	14	951,078613	7,899902		
i_d_207k1	5450	4	15	951,335144	8,156433		
i_d_208k1	5950	4	16	951,565979	8,387268		
i_d_210k1	7950	4	17	951,883301	8,70459		
i_d_205k1	4450	4	18	951,954651	8,77594		
i_d_211k1	9950	4	19	952,074951	8,89624		
i_d_207k1	5450	2	20	952,398865	9,220154		
i_d_203k1	3450	2	21	952,408752	9,230042		
i_d_206k1	4950	2	22	952,549377	9,370667		
i_d_212k1	11950	4	23	952,701904	9,523193		
i_d_204k1	3950	4	24	952,725952	9,547241		
i_d_204k1	3950	2	25	952,85968	9,680969		
i_d_208k1	5950	2	26	952,967651	9,78894		
i_d_205k1	4450	2	27	953,276855	10,098145		
i_d_211k1	9950	2	28	953,612915	10,434204		
i_d_209k1	6950	4	29	953,650574	10,471863		
i_d_212k1	11950	2	30	953,793091	10,61438		
i_d_210k1	7950	2	31	953,83783	10,659119		
i_d_209k1	6950	2	32	954,484009	11,305298		

Tabelle 14-2: Fallgruppe 2 (Frauen mit Prolaps), drei Modellgruppen (Variation der Tagesdosis- und der Druckkraftschwellen sowie des Rumpfbeugewinkels und der Art der Lastenhandhabung): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades: Definition der Haupt- und Nebenanalyse

Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC
i_d_110k1	4	1	943,1787	0
i_d_109k1	4	2	944,0864	0,907715
i_d_115k1	4	3	944,1347	0,955994
i_d_112k1	4	4	944,1763	0,997559
i_d_113k1	4	5	944,7884	1,60968
i_d_111k1	4	6	944,8646	1,685852
i_d_114k1	4	7	944,973	1,794312
i_d_201k1	4	8	945,3851	2,206421
i_d_101k1	4	9	945,8842	2,705444
i_d_110k1	2	10	946,2797	3,101013
i_d_109k1	2	11	946,6517	3,473022
i_d_114k1	2	12	946,824	3,645325
i_d_201k1	2	13	947,3676	4,188843
i_d_115k1	4	14	947,707	4,528259
i_d_111k1	2	15	947,7386	4,559875
i_d_101k1	2	16	947,9463	4,767578
i_d_112k1	2	17	948,025	4,846313
i_d_202k1	4	18	948,0381	4,859375
i_d_113k1	2	19	948,6526	5,473877

Tabelle 14-3: Fallgruppe 3 (Männer mit Chondrose), Modellgruppe 2 (Variation der Druckkraftschwellen): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades

Modelltyp	Schwelle / N	FP	Rang	AIC	d_AIC	AIC_95
i_d_207k1	5450	2	1	616,336426	0	1
i_d_204k1	3950	2	2	617,023315	0,68689	1
i_d_208k1	5950	2	3	617,273499	0,937073	1
i_d_206k1	4950	2	4	617,324951	0,988525	1
i_d_203k1	3450	2	5	617,751038	1,414612	1
i_d_111k1	2700	2	6	617,768311	1,431885	1
i_d_112k1	2950	2	7	617,88562	1,549194	1
i_d_113k1	3200	2	8	617,919067	1,582642	1
i_d_207k1	5450	4	9	617,959167	1,622742	1
i_d_205k1	4450	2	10	618,071411	1,734985	1
i_d_206k1	4950	4	11	618,543396	2,20697	1
i_d_112k1	2950	4	12	618,554382	2,217957	1
i_d_208k1	5950	4	13	618,875977	2,539551	1
i_d_113k1	3200	4	14	619,000305	2,663879	1
i_d_111k1	2700	4	15	619,616821	3,280396	1
i_d_110k1	2450	2	16	619,708374	3,371948	1
i_d_109k1	2200	2	17	620,450195	4,11377	1
i_d_101k1	1950	2	18	620,623047	4,286621	1
i_d_204k1	3950	4	19	620,766724	4,430298	1
i_d_110k1	2450	4	20	620,786133	4,449707	1
i_d_109k1	2200	4	21	620,954773	4,618347	
i_d_203k1	3450	4	22	621,023987	4,687561	
i_d_205k1	4450	4	23	621,226868	4,890442	
i_d_101k1	1950	4	24	621,290405	4,953979	
i_d_209k1	6950	2	25	621,850281	5,513855	
i_d_210k1	7950	2	26	624,660461	8,324036	
i_d_211k1	9950	2	27	626,717285	10,380859	
i_d_211k1	9950	4	28	627,493835	11,15741	
i_d_212k1	11950	2	29	628,00238	11,665955	
i_d_212k1	11950	4	30	631,202698	14,866272	
i_d_209k1	6950	4	31	keine Konvergenz		
i_d_210k1	7950	4	32	keine Konvergenz		

Tabelle 14-4: Fallgruppe 3 (Männer mit Chondrose), drei Modellgruppen (Variation der Tagesdosis- und der Druckkraftschwellen sowie des Rumpfbeugewinkels und der Art der Lastenhandhabung): Modellranking nach AIC, Grundmodell, Grundconfounder, fraktionale Polynome 2. und 4. Grades: keine Einschränkung der Variation der Druckkraftschwellen, Definition der Nebenanalyse

Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC	Modelltyp	FP	Rang	AIC	d_AIC
i_d_102k1	4	1	615,4765	0	i_d_112k1	4	16	618,5544	3,077881
i_d_207k1	2	2	616,3364	0,859924	i_d_202k1	4	17	618,57	3,093506
i_d_204k1	2	3	617,0233	1,546814	i_d_208k1	4	18	618,876	3,399475
i_d_102k1	2	4	617,0331	1,55658	i_d_113k1	4	19	619,0003	3,523804
i_d_208k1	2	5	617,2735	1,796997	i_d_202k1	2	20	619,1884	3,711914
i_d_206k1	2	6	617,325	1,84845	i_d_111k1	4	21	619,6168	4,14032
i_d_114k1	2	7	617,7108	2,234314	i_d_110k1	2	22	619,7084	4,231873
i_d_203k1	2	8	617,751	2,274536	i_d_116k1	2	23	620,1096	4,633118
i_d_111k1	2	9	617,7683	2,291809	i_d_109k1	2	24	620,4502	4,973694
i_d_112k1	2	10	617,8856	2,409119	i_d_201k1	2	25	620,4731	4,996643
i_d_113k1	2	11	617,9191	2,442566	i_d_101k1	2	26	620,623	5,146545
i_d_207k1	4	12	617,9592	2,482666	i_d_116k1	4	27	620,6694	5,192932
i_d_114k1	4	13	617,9713	2,494751	i_d_204k1	4	28	620,7667	5,290222
i_d_205k1	2	14	618,0714	2,59491	i_d_110k1	4	29	620,7861	5,309631
i_d_206k1	4	15	618,5434	3,066895	i_d_101k1	4	30	621,2904	5,813904

4. Analyse von Einzelbelastungen

a) Heben/Umsetzen/Absenken von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg)

Tabelle 14-5: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
N	225	181	114	137	309	233
Vorkommen der Belastung	81 %	71 %	82 %	82 %	76 %	67 %
Statistische Maßzahlen „Heben/Umsetzen/Absenken“ (Jahreswerte in [t*s])						
Median	48	17	50	19	25	8
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	3.670	3.429	8.671	2.095	15.015	3.689
Mittelwert	198	86	287	82	251	73
Standardabweichung	433	281	962	235	1.054	278
5. Perzentil	0	0	0	0	0	0
25. Perzentil	4	0	6	3	1	0
75. Perzentil	204	73	199	77	139	51
95. Perzentil	810	358	1.191	253	965	311

Tabelle 14-6: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [t*s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
N	7	9	16	11	286	213
Vorkommen der Belastung	14 %	11 %	81 %	36 %	77 %	71 %
Statistische Maßzahlen „Heben/Umsetzen/Absenken“ (Jahreswerte in [t*s])						
Median	0	0	25	0	26	10
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	3	5	972	15	15.015	3.689
Mittelwert	0	1	126	4	265	80
Standardabweichung	1	2	256	6	1.093	290
5. Perzentil	-	-	-	-	0	0
25. Perzentil	-	-	-	-	1	0
75. Perzentil	-	-	-	-	150	58
95. Perzentil	-	-	-	-	991	328

Tabelle 14-7: Durchschnittliche Jahreswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	18	0
Minimum	0	0
Maximum	15.015	3.689
Mittelwert	171	38
Standardabweichung	877	204

Tabelle 14-8: Durchschnittliche Tageswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [kg*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
Median	217	76	225	87	113	35
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	16.684	15.586	39.413	9.523	68.251	16.767
Mittelwert	901	391	1.307	371	1.143	332
Standardabweichung	1.969	1.277	4.371	1.066	4.791	1.264
5. Perzentil	0	0	0	0	0	0
25. Perzentil	20	0	27	12	4	0
75. Perzentil	929	332	906	350	633	231
95. Perzentil	3.680	1.626	5.415	1.149	4.386	1.412

Tabelle 14-9: Durchschnittliche Tageswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [kg*s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
Median	0	0	112	0	119	43
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	14	24	4.417	67	68.251	16.767
Mittelwert	2	3	572	17	1.203	362
Standardabweichung	5	8	1.165	27	4.967	1.318
5. Perzentil	-	-	-	-	0	0
25. Perzentil	-	-	-	-	7	0
75. Perzentil	-	-	-	-	681	266
95. Perzentil	-	-	-	-	4.505	1.492

Tabelle 14-10: Durchschnittliche Tageswerte für „Heben/Umsetzen/Absenken“ von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [kg*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	80	0
Minimum	0	0
Maximum	68.251	16.767
Mittelwert	775	172
Standardabweichung	3.984	926

i) Tragen von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg)

Tabelle 14-11: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Tragen von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
N	225	181	114	137	309	233
Vorkommen der Belastung	76 %	65 %	72 %	75 %	66 %	58 %
Statistische Maßzahlen „Tragen“ (Jahreswerte in [t*s])						
Median	326	54	265	89	130	22
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	24.305	14.994	37.876	32.387	37.204	17.505
Mittelwert	1.556	363	1.559	606	1.156	439
Standardabweichung	3.257	1.237	4.250	2.854	3.120	1.484
5. Perzentil	0	0	0	0	0	0
25. Perzentil	13	0	0	0	0	0
75. Perzentil	1.576	348	1.256	352	732	266
95. Perzentil	6.927	1.344	8.143	1.999	6.032	1.939

Tabelle 14-12: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Tragen von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [t*s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
N	7	9	16	11	286	213
Vorkommen der Belastung	14 %	11 %	63 %	27 %	68 %	62 %
Statistische Maßzahlen „Tragen“ (Jahreswerte in [t*s])						
Median	0	0	204	0	146	38
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	9	22	4.557	115	37.204	17.505
Mittelwert	1	2	530	14	1.219	479
Standardabweichung	3	7	1.140	34	3.224	1.546
5. Perzentil	-	-	-	-	0	0
25. Perzentil	-	-	-	-	0	0
75. Perzentil	-	-	-	-	897	285
95. Perzentil	-	-	-	-	6.271	2.209

Tabelle 14-13: Durchschnittliche Jahreswerte für das Tragen von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	58	0
Minimum	0	0
Maximum	37.204	17.505
Mittelwert	799	228
Standardabweichung	2.619	1.091

Tabelle 14-14: Durchschnittliche Tageswerte für das Tragen von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [kg*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
Median	1.480	245	1.205	406	590	102
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	110.476	68.153	172.164	147.216	169.109	79.569
Mittelwert	7.073	1.649	7.087	2.754	5.254	1.994
Standardabweichung	14.805	5.624	19.320	12.973	14.181	6.744
5. Perzentil	0	0	0	0	0	0
25. Perzentil	58	0	0	2	0	0
75. Perzentil	7.180	1.584	5.707	1.601	3.329	1.207
95. Perzentil	31.488	6.110	37.015	9.086	27.416	8.815

Tabelle 14-15: Durchschnittliche Tageswerte für das Tragen von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [kg*s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
Median	0	0	929	0	665	171
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	41	102	20.715	521	169.109	79.569
Mittelwert	6	11	2.410	62	5.541	2.178
Standardabweichung	15	34	5.182	156	14.653	7.027
5. Perzentil	-	-	-	-	0	0
25. Perzentil	-	-	-	-	0	0
75. Perzentil	-	-	-	-	4.078	1.296
95. Perzentil	-	-	-	-	28.506	10.039

Tabelle 14-16: Durchschnittliche Tageswerte für das Tragen von Lasten (Männer ≥ 20 kg, Frauen ≥ 10 kg) für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [kg*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	262	0
Minimum	0	0
Maximum	169.109	79.569
Mittelwert	3.630	1.035
Standardabweichung	11.905	4.960

j) Halten von Lasten

Tabelle 14-17: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Halten von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
N	225	181	114	137	309	233
Vorkommen der Belastung	35 %	8 %	25 %	3 %	28 %	7 %
Statistische Maßzahlen „Halten“ (Jahreswerte in [t*s])						
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	15.059	3.380	10.577	1.407	26.282	3.664
Mittelwert	793	62	389	11	401	41
Standardabweichung	2.236	339	1.486	120	2.142	291

Tabelle 14-18: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Halten von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [t*s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
N	7	9	16	11	286	213
Vorkommen der Belastung	0 %	11 %	6 %	0 %	30 %	8 %
Statistische Maßzahlen „Halten“ (Jahreswerte in [t*s])						
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	0	1	191	0	26.282	3.664
Mittelwert	0	0	12	0	433	45
Standardabweichung	0	0	48	0	2.223	305

Tabelle 14-19: Durchschnittliche Jahreswerte für das Halten von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	0	0
Minimum	0	0
Maximum	26.282	3.664
Mittelwert	273	21
Standardabweichung	1.778	211

Tabelle 14-20: Durchschnittliche Tageswerte für das Halten von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [kg*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	68.450	15.366	48.078	6.396	119.465	16.656
Mittelwert	3.606	282	1.766	51	1.824	187
Standardabweichung	10.165	1.539	6.754	547	9.735	1.327

Tabelle 14-21: Durchschnittliche Tageswerte für das Halten von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [kg*s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	0	6	867	0	119.465	16.656
Mittelwert	0	1	54	0	1.964	204
Standardabweichung	0	2	217	0	10.106	1.387

Tabelle 14-22: Durchschnittliche Tageswerte für das Halten von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [kg*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	0	0
Minimum	0	0
Maximum	119.465	16.656
Mittelwert	1.242	97
Standardabweichung	8.081	961

k) Ziehen von Lasten

Tabelle 14-23: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Ziehen von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
N	225	181	114	137	309	233
Vorkommen der Belastung	23 %	19 %	14 %	20 %	18 %	15 %
Statistische Maßzahlen „Ziehen“ (Jahreswerte in [t*s])						
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	723.600	59.062	413.538	68.000	101.829	33.641
Mittelwert	7.926	1.301	4.872	1.427	2.137	696
Standardabweichung	53.373	5.928	39.185	6.648	12.171	3.464

Tabelle 14-24: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Ziehen von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [t*s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
N	7	9	16	11	286	213
Vorkommen der Belastung	0 %	11 %	6 %	9 %	19 %	16 %
Statistische Maßzahlen „Tragen“ (Jahreswerte in [t*s])						
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	0	519	32	660	101.829	33.641
Mittelwert	0	58	2	60	2.308	756
Standardabweichung	0	173	8	199	12.637	3.618

Tabelle 14-25: Durchschnittliche Jahreswerte für das Ziehen von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	0	0
Minimum	0	0
Maximum	101.829	33.641
Mittelwert	1.457	359
Standardabweichung	10.096	2.520

Tabelle 14-26: Durchschnittliche Tageswerte für das Ziehen von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	3.289	268	1.880	309	463	153
Mittelwert	36	6	22	6	10	3
Standardabweichung	243	27	178	30	55	16

Tabelle 14-27: Durchschnittliche Tageswerte für das Ziehen von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [t*s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	0	2	0	3	463	153
Mittelwert	0	0	0	0	10	3
Standardabweichung	0	1	0	1	57	16

Tabelle 14-28: Durchschnittliche Tageswerte für das Ziehen von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	0	0
Minimum	0	0
Maximum	463	153
Mittelwert	7	2
Standardabweichung	46	11

I) Schieben von Lasten

Tabelle 14-29: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Schieben von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
N	225	181	114	137	309	233
Vorkommen der Belastung	31 %	23 %	30 %	28 %	35 %	28 %
Statistische Maßzahlen „Schieben“ (Jahreswerte in [t*s])						
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	295.044	123.530	209.869	81.575	74.301	284.968
Mittelwert	2.944	3.319	4.080	3.547	2.078	3.306
Standardabweichung	21.497	14.013	21.264	11.844	7.517	20.640

Tabelle 14-30: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für das Schieben von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [t*s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
N	7	9	16	11	286	213
Vorkommen der Belastung	0 %	11 %	19 %	0 %	37 %	30 %
Statistische Maßzahlen „Schieben“ (Jahreswerte in [t*s])						
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	0	322	450	0	74.301	284.968
Mittelwert	0	36	49	0	2.242	3.615
Standardabweichung	0	107	121	0	7.791	21.565

Tabelle 14-31: Durchschnittliche Jahreswerte für das Schieben von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	0	0
Minimum	0	0
Maximum	74.301	284.968
Mittelwert	1.416	1.719
Standardabweichung	6.281	14.961

Tabelle 14-32: Durchschnittliche Tageswerte für das Schieben von Lasten für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [t*s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	1.341	562	954	371	338	1.295
Mittelwert	13	15	19	16	9	15
Standardabweichung	98	64	97	54	34	94

Tabelle 14-33: Durchschnittliche Tageswerte für das Schieben von Lasten für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [t*s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	0	1	2	0	338	1.295
Mittelwert	0	0	0	0	10	16
Standardabweichung	0	0	1	0	35	98

Tabelle 14-34: Durchschnittliche Tageswerte für das Schieben von Lasten für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [t*s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	0	0
Minimum	0	0
Maximum	338	1.295
Mittelwert	6	8
Standardabweichung	29	68

m) Rumpfbeugen ab 75°

Tabelle 14-35: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 75^\circ$ “ für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [h]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
N	225	181	114	137	309	233
Vorkommen der Belastung	79 %	72 %	73 %	78 %	68 %	68 %
Statistische Maßzahlen „Rumpfbeuge $\geq 75^\circ$“ (Jahreswerte in [h])						
Median	13	6	11	7	5	3
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	442	503	468	260	706	570
Mittelwert	41	36	56	24	36	21
Standardabweichung	67	84	99	46	84	58
5. Perzentil	0	0	0	0	0	0
25. Perzentil	1	0	0	0	0	0
75. Perzentil	51	28	62	22	32	16
95. Perzentil	216	262	327	168	151	99

Tabelle 14-36: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 75^\circ$ “ für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [h].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
N	7	9	16	11	286	213
Vorkommen der Belastung	14%	22%	63%	45%	69%	71%
Statistische Maßzahlen „Rumpfbeuge $\geq 75^\circ$“ (Jahreswerte in [h])						
Median	0	0	6	0	6	4
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	10	1	53	17	706	570
Mittelwert	1	0	11	3	38	22
Standardabweichung	4	0	16	6	86	61
5. Perzentil					0	0
25. Perzentil					0	0
75. Perzentil					36	18
95. Perzentil					168	103

Tabelle 14-37: Durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 75^\circ$ “ für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [h]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	3	0
Minimum	0	0
Maximum	706	570
Mittelwert	25	11
Standardabweichung	71	43

Tabelle 14-38: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfbeugen $\geq 75^\circ$ “ für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
Median	216	93	181	110	81	49
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	7.232	8.236	7.655	4.255	11.554	9.330
Mittelwert	666	595	909	394	585	337
Standardabweichung	1.099	1.371	1.624	760	1.366	953
5. Perzentil	0	0	0	0	0	0
25. Perzentil	16	0	0	4	0	0
75. Perzentil	836	451	1.010	361	524	256
95. Perzentil	3.528	4.289	5.351	2.743	2.474	1.628

Tabelle 14-39: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfbeugen $\geq 75^\circ$ “ für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
Median	0	0	95	0	91	72
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	162	15	870	281	11.554	9.330
Mittelwert	23	2	176	53	621	366
Standardabweichung	61	5	256	95	1.413	992
5. Perzentil	-	-	-	-	0	0
25. Perzentil	-	-	-	-	0	0
75. Perzentil	-	-	-	-	596	290
95. Perzentil	-	-	-	-	2.757	1.678

Tabelle 14-40: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfheugen $\geq 75^\circ$ “ für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	43	0
Minimum	0	0
Maximum	11.554	9.330
Mittelwert	406	174
Standardabweichung	1.157	707

n) Rumpfheugen ab 90°

Tabelle 14-41: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfheugen $\geq 90^\circ$ “ für alle TAD-Probanten, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [h]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
N	225	181	114	137	309	233
Vorkommen der Belastung	35 %	30 %	32 %	34 %	26 %	25 %
Statistische Maßzahlen „Rumpfheuge $\geq 90^\circ$“ (Jahreswerte in [h])						
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	154	232	252	260	432	318
Mittelwert	8	9	15	7	6	5
Standardabweichung	22	27	41	27	30	28

Tabelle 14-42: Vorkommen und durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 90^\circ$ “ für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [h].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
N	7	9	16	11	286	213
Vorkommen der Belastung	0 %	0 %	19 %	9 %	27 %	27 %
Statistische Maßzahlen „Rumpfbeuge $\geq 90^\circ$“ (Jahreswerte in [h])						
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	0	0	7	9	432	318
Mittelwert	0	0	1	1	6	5
Standardabweichung	0	0	2	3	31	30

Tabelle 14-43: Durchschnittliche Jahreswerte für „Rumpfbeugen $\geq 90^\circ$ “ für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [h]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	0	0
Minimum	0	0
Maximum	432	318
Mittelwert	4	2
Standardabweichung	25	21

Tabelle 14-44: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfbeugen $\geq 90^\circ$ “ für alle TAD-Probanden, unterteilt nach Fall- und Kontrollgruppen. Angaben in [s]. (FG = Fallgruppe, KGm = männliche Kontrollgruppe, KGw = weibliche Kontrollgruppe)

	FG1	FG2	FG3	FG4	KGm	KGw
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0,00
Maximum	2.526	3.789	4.119	4.255	7.071	5.210
Mittelwert	124	142	238	120	98	79
Standardabweichung	361	446	665	444	483	463

Tabelle 14-45: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfbeugen $\geq 90^\circ$ “ für alle TAD-interviewten Kontrollen, unterteilt in „nicht belastet“ (KGm 1/KGw 1), „gering belastet“ (KGm 2/KGw 2) und „belastet“ (KGm 3/KGw 3). Angaben in [s].

	KGm 1	KGw 1	KGm 2	KGw 2	KGm 3	KGw 3
Median	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	0	0
Maximum	0	0	113	142	7.071	5.210
Mittelwert	0	0	13	13	106	86
Standardabweichung	0	0	32	43	501	484

Tabelle 14-46: Durchschnittliche Tageswerte für „Rumpfbeugen $\geq 90^\circ$ “ für alle DWS-Kontrollen. Angaben in [s]. (KGm ges = männliche DWS-Kontrollen, KGw ges = weibliche DWS-Kontrollen)

	KGm ges	KGw ges
Median	0	0
Minimum	0	0
Maximum	7.071	5.210
Mittelwert	67	41
Standardabweichung	401	336

5. Häufigkeit der Überschreitung ausgewählter Gesamtdosen bei Männern und Frauen

Tabelle 14-47a: Häufigkeit der Überschreitung einer Gesamtdosis von 7, 10, 18, 30 und 56 MNh bei Männern (ausgehend von dem Referenzdosismodell mit der Datengrundlage des „Dortmunders“) mit Angabe der Odds Ratios (F = Fälle, K = Kontrollen, adjustierte OR = für Alter und Region adjustierte Odds Ratios, 95 %-CI = 95 %-Konfidenzintervall)

Gesamtdosis	K	%	FG 1 u. 3	%	Adjustierte OR (95%-CI)	Nur FG 1	%	Adjustierte OR (95%-CI)	Nur FG 3	%	Adjustierte OR (95%-CI)
0 Nh	143	31,6	76	17,6	1,0 -	49	17,1	1,0 -	27	18,6	1,0 -
>0, <7 * 10 ⁶ Nh	138	30,5	91	21,1	1,4 (1,0-2,1)	63	22,0	1,4 (0,9-2,2)	28	19,3	1,6 (0,8-2,9)
≥7, <10 * 10 ⁶ Nh	32	7,1	35	8,1	2,1 (1,2-3,7)	22	7,7	2,1 (1,1-3,9)	13	9,0	2,3 (1,0-5,2)
≥10, <18 * 10 ⁶ Nh	37	8,2	51	11,8	3,0 (1,7-5,0)	37	12,9	3,1 (1,8-5,6)	14	9,7	2,7 (1,2-6,0)
≥18, <30 * 10 ⁶ Nh	34	7,5	66	15,3	3,9 (2,3-6,5)	48	16,8	4,1 (2,4-7,3)	18	12,4	3,4 (1,6-7,3)
≥30, <56 * 10 ⁶ Nh	35	7,7	64	14,8	3,5 (2,1-5,9)	44	15,4	3,6 (2,0-6,4)	20	13,8	3,3 (1,6-6,9)
≥56 * 10⁶ Nh	34	7,5	48	11,1	2,5 (1,4-4,3)	23	8,0	2,0 (1,0-3,8)	25	17,2	3,2 (1,6-6,6)

Tabelle 14-47b: Häufigkeit der Überschreitung einer Gesamtdosis von 3, 4,5, 8,5, 14 und 24,5 MNh bei Frauen (ausgehend von dem Referenzdosismodell mit der Datengrundlage des „Dortmunders“) mit Angabe der Odds Ratios (F = Fälle, K = Kontrollen, adjustierte OR = für Alter und Region adjustierte Odds Ratios, 95 %-CI = 95 %-Konfidenzintervall)

Gesamtdosis	K	%	FG 2 u. 4	%	Adjustierte OR (95%-CI)	Nur FG 2	%	Adjustierte OR (95%-CI)	Nur FG 4	%	Adjustierte OR (95%-CI)
0 Nh	133	27,5	204	45,5	1,0 -	74	26,6	1,0 -	59	28,6	1,0 -
>0, <3 * 10 ⁶ Nh	88	18,2	86	19,2	1,9 (1,3-2,8)	60	21,6	2,1 (1,3-3,2)	28	13,6	1,4 (0,8-2,5)
≥3, <4,5 * 10 ⁶ Nh	33	6,8	30	6,7	1,9 (1,1-3,4)	18	6,5	1,8 (0,9-3,5)	15	7,3	2,2 (1,0-4,7)
≥4,5, <8,5 * 10 ⁶ Nh	55	11,4	33	7,4	3,2 (1,9-5,3)	28	10,1	2,7 (1,5-4,8)	27	13,1	4,2 (2,1-8,1)
≥8,5, <14 * 10 ⁶ Nh	52	10,7	33	7,4	2,9 (1,7-4,8)	34	12,2	3,2 (1,8-5,7)	18	8,7	2,1 (1,1-4,3)
≥14, <24,5 * 10 ⁶ Nh	53	11,0	31	6,9	2,8 (1,7-4,7)	29	10,4	2,9 (1,6-5,2)	24	11,7	2,4 (1,2-4,5)
≥24,5 * 10 ⁶ Nh	70	14,5	31	6,9	3,3 (2,0-5,4)	35	12,6	3,3 (1,9-5,8)	35	17,0	3,1 (1,7-5,6)

6. Darstellung der von den einzelnen Studienzentren übernommenen Aufgaben

Tabelle 14-48: Arbeitspakete der DWS-Richtwertestudie nach beteiligten Institutionen

Forschungsnehmer	Übernommene Aufgaben
Forschungsleitung	
Dresden/Berlin	• Gesamtleitung des Forschungsprojekts, Studienkoordination • Vergleich der Anpassungsgüte verschiedener Dosismodells auf der Grundlage von AIC-Berechnungen • Berechnung und Interpretation der AIC-Werte für die kontinuierlichen Dosiswerte verschiedener Dosismodelle mit drei Verfahren (Polynome 3. Grades, lokale Regressionsanalyse, fraktionale Polynome) • Berechnung von kumulativen Lebensdosiswerten für alle im Laufe des Projekts einbezogenen Dosismodelle • Entwicklung eines Vorschlags zu geeigneten Richtwerten und zum weiteren Verfahren • Interpretation der Daten und der Studienergebnisse • Entwurf des Abschlussberichts
Stellvertretende Forschungsleitung	
Dortmund	• Unterstützung der Projektleitung • Biomechanische Abschätzung der schichtbezogenen Wirbelsäulenbelastungen • Berechnung von Tagesdosiswerten für alle im Laufe des Projektes untersuchten Dosismodelle • Beteiligung an der Interpretation der Daten und der Studienergebnisse • Entwicklung eines Vorschlags zu geeigneten Richtwerten und zum weiteren Verfahren • Beteiligung an der Erstellung der Manuskripte
Weitere Studienzentren (alphabetisch)	
Essen	• Vergleich der Anpassungsgüte verschiedener Dosismodells auf der Grundlage von AIC-Berechnungen • Berechnung und Interpretation der AIC-Werte für die kontinuierlichen Dosiswerte verschiedener Dosismodelle mit drei Verfahren (Polynome 3. Grades, lokale Regressionsanalyse, fraktionale Polynome) • Statistische Prüfung auf Schwellenwerte • Multi-Modell-Analysen • Bestimmung der Risikoverdopplung • Beteiligung an der Interpretation der Daten und der Studienergebnisse • Entwicklung eines Vorschlags zu geeigneten Richtwerten und zum weiteren Verfahren • Beteiligung an der Erstellung der Manuskripte

Halle	• Vergleich der Anpassungsgüte verschiedener Dosismodelle auf der Grundlage von AIC-Berechnungen • Berechnung und Interpretation der AIC-Werte für die kontinuierlichen Dosiswerte verschiedener Dosismodelle mit drei Verfahren (Polynome 3. Grades, lokale Regressionsanalyse, fraktionale Polynome) • Beteiligung an der Interpretation der Daten und der Studienergebnisse • Entwicklung eines Vorschlags zu geeigneten Richtwerten und zum weiteren Verfahren • Beteiligung an der Erstellung der Manuskripte
Sankt Augustin	• Bearbeitung Projektteil 2: Entwicklung und Bewertung von Bestimmungsgleichungen • Beteiligung an der Interpretation der Daten und der Studienergebnisse • Entwicklung eines Vorschlags zu geeigneten Richtwerten und zum weiteren Verfahren • Beteiligung an der Erstellung der Manuskripte
Kooperationspartner (alphabetisch)	
Mannheim	• Beteiligung an der Interpretation der Daten und der Studienergebnisse • Entwicklung eines Vorschlags zu geeigneten Richtwerten und zum weiteren Verfahren • Beteiligung an der Erstellung der Manuskripte
Wiesbaden	• Beteiligung an der Interpretation der Daten und der Studienergebnisse • Entwicklung eines Vorschlags zu geeigneten Richtwerten und zum weiteren Verfahren • Beteiligung an der Erstellung der Manuskripte