

Handlungsanleitung zur Ermittlung der Wirbelsäulenbelastung bei Schaufeltätigkeiten in BK-2108-Feststellungsverfahren

Gerald Rehme, Bernd Hartmann, Rolf Ellegast, Matthias Jäger, Ulrich Glitsch

Diese Handlungsanleitung dient der Ermittlung der Bandscheibenbelastung an der Lendenwirbelsäule (LWS) männlicher Beschäftigter beim Schaufeln unterschiedlicher Schüttgüter im Rahmen von Feststellungsverfahren zur Berufskrankheit 2108 „Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule durch langjähriges Heben oder Tragen schwerer Lasten ...“. Hierbei sollen konkrete Angaben zur Druckkraft auf die unterste Bandscheibe L5/S1 und deren Einwirkungsdauer bei berufstypischen Schaufeltätigkeiten die Anwendung des Mainz-Dortmunder Dosismodells (MDD) grundsätzlich ermöglichen und zu einer einheitlichen Interpretation der verschiedenen Randbedingungen beim Schaufeln beitragen. Die Anleitung stützt sich auf die Ergebnisse des DGUV-Forschungsprojektes „Belastung der Lendenwirbelsäule bei Schaufeltätigkeiten“ (BGIA-Report 4/2008).

Die vorliegenden Daten basieren auf einer biomechanischen Analyse mit fünf im täglichen berufstypischen Schaufeln erfahrenen Beschäftigten im Alter zwischen 22 und 59 Jahren. Die Untersuchung erfolgte unter experimentellen Bedingungen im Labor, die aus verschiedenen typischen Schaufelaufgaben und verschiedenen Schüttgütern (Sand, Beton, Kies, Schotter, Erde) bestanden. Zu den Aufgaben zählte beispielsweise das Schaufeln über eine kurze Wurfedistanz von ca. 1,5 m, über eine weite Wurfedistanz von 3 m und auf eine Höhe von 1,2 m bei einer Wurfweite von ca. 2,5 m. Die Ausprägungen einzelner Parameter, wie mittleres Schüttgutgewicht je Schaufelvorgang sowie individuelle Arbeitsweise und Tempo des Schaufelns entsprachen realen Arbeitssituationen.

Die Abschätzungen der LWS-Belastung aufgrund persönlicher Angaben der Versicherten zu Schaufelvorgängen bei Ermittlungen im BK-Feststellungsverfahren sind durch die Verwendung der Ergebnisse dieser Studie weitgehend gedeckt. Für die zeitliche Beurteilung der Einwirkung ist zu beachten, dass jeder Schaufelzyklus aus einer Aktionsphase mit erhöhter Belastung und einer belastungsarmen Rückführungsphase besteht, die jeweils etwa die Hälfte der Zykluszeiten umfassen. Bei jedem Probanden wurden in den entsprechenden Konstellationen aus Schaufelgut und Aufgabe 20 ununterbrochen aufeinander folgende Zyklen untersucht.

Auf der Grundlage dieser Rahmenbedingungen sind Daten für die Kompressionskräfte an der LWS und die Belastungsdauer ermittelt worden, die in die Berechnung der Tages-Belastungsdosis nach dem Mainz-Dortmunder Dosismodell (MDD) aufgenommen werden können. Hierbei ist es unerheblich, dass in realen Arbeitssituationen das Schaufeln immer wieder unterbrochen oder Pausen zwischen den einzelnen Schaufelvorgängen eingelegt werden bzw. Schaufeltätigkeiten insgesamt eine längere Zeitdauer pro Arbeitsschicht einnehmen.

Eine generelle Abhängigkeit der Bandscheibenkompressionskraft von der Schaufelaufgabe (Schüttgut, Wurfweite, und -höhe) konnte in der Studie nicht gefunden werden. Offensichtlich passt sich die Person so an die Schaufelbedingungen an, dass die Belastungshöhe in etwa auf dem bevorzugten Niveau gleich bleibt.

Im „Regelfall“ ist von einer maximalen Bandscheibenkompressionskraft von $3\frac{1}{2}$ kN und einer Belastungsdauer von 2 s je Schaufelvorgang auszugehen. Im außergewöhnlichen „Sonderfall“, der bei sehr hohem Arbeitstempo – wie beispielsweise bei Estrichlegerhelfern beim ausschließlichen Schaufeln von Sand – gegeben ist, beträgt die maximale Kompressionskraft $6\frac{1}{4}$ kN bei $1\frac{1}{2}$ s Belastungsdauer je Schaufelvorgang. Die mittlere Schaufelbeladung liegt in allen Fällen bei rund 8 kg. Eine weitergehende Korrektur der Werte dieser Konsensempfehlung wegen persönlicher Angaben bei der Befragung von Versicherten über besonders schnelle Schaufeltätigkeiten entfällt damit in den allermeisten Fällen.

Um die Tagesdosis durch die Schaufeltätigkeit zu bestimmen, ist nach den täglich geschaukelten Schüttgutmengen bzw. der erreichten Tagesleistung, wie z. B. verbaute Kubikmeter Estrich oder Anzahl hergestellter Mischungen, zu fragen. Damit ist die Rückrechnung auf die geschaukelte Schüttgutmasse und schließlich auf die Anzahl der Schaufelvorgänge pro Arbeitsschicht verlässlicher möglich als bei einer direkten Frage nach der Anzahl der Schaufelvorgänge pro Tag bzw. über den Rechenweg aus der Gesamtdauer der Schaufeltätigkeit pro Arbeitsschicht. Ferner fällt die Plausibilitätskontrolle der Daten anhand der Tagesleistung leichter. Für die Umrechnung von Volumen auf Masse häufig zu schaukelnder Schüttgüter kann die Tabelle 1 als orientierende Hilfe dienen. Keinesfalls darf die Schaufelhäufigkeit durch die einfache Division von Gesamttätigkeitszeit durch die Belastungsdauer je Vorgang (i.d.R. 2 s) berechnet werden, da dann – neben zwischenzeitlichen Pausen – insbesondere die belastungsarmen Rückführungsphasen unberücksichtigt blieben.

Tabelle 1: Dichte unverdichteter Schüttgüter

Schüttgüter	Dichte in kg/dm ³
Sand	1,6
Kies (0-16)	2,0
Erde	1,5
Beton	2,0
Schotter	1,6

Die nachfolgenden Beispiele zur Berechnung der Tagesdosis nach dem MDD (Tabellen 2 bis 4) entstammen den Tätigkeitsmodulen der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU) für Berufe mit Schaufeltätigkeitsanteil. Die den Daten zugrundeliegenden Arbeitsumfänge entsprechen der typischen Tagesleistung in den jeweiligen Gewerken. Am Ende werden die ermittelten Schaufelvorgänge pro Tag auf ganze Vielfache von 50 gerundet, um den Unsicherheiten bei den Angaben zur Tagesleistung Rechnung zu tragen.

Beispiel 1 – Gleisbauer:

Ein Gleisbauer hatte durchschnittlich 1,25 m³ Schotter am Tag zu schaufeln (Tabelle 2).

Schüttgutmenge Schotter $V_{st} = 1,25 \text{ m}^3$

Dichte Schotter $\rho_{st} = 1,6 \text{ kg/dm}^3 = 1600 \text{ kg/m}^3$

Durchschnittliche Schaufelbeladung/Schaufelvorgang $m = 8 \text{ kg}$

Gesucht: Anzahl Schaufelvorgänge n_{8h}

$$n_{8h} = \frac{V_{st} \cdot \rho_{st}}{m} = \frac{1,25 \cdot 1600 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}}{8 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}} = 250$$

Tabelle 2: Tagesdosis nach MDD eines Gleisbauers

Tätigkeits-Modul 6							
Instandhaltung, einschließlich Nebenarbeiten, 2-Mann-Kolonne (Arbeiten mit z. T. 3 Kolonnen)							
Berechnung der Tagesdosis nach MDD							
Tätigkeit	Gewicht der Last [kg]	Druckkraft auf L5/ S1 F_{L5} in [kN] gerundet	Häufigkeit der Hebe- oder Tragevorgänge pro Schicht	Dauer pro Hebe- oder Tragevorgang [s]	Dauer pro Schicht t_i in [h]	$F_{L5}^2 \times t_i$ [kN ² h]	Erläuterungen
a) Schaufelarbeiten	---	3.5	250	2	0.139	1.70139	Schaufeln von Schüttgütern wie Schotter
b) Heben und Absetzen von Stopfwerkzeugen	32	4.2	100	2.5	0.069	1.22500	Heben und Absetzen von Stopfwerkzeugen
c) Tragen von Stopfwerkzeugen	32	2.9	50	30	0.417	entfällt*)	Transport von Stopfwerkzeugen
d) Heben und Absetzen von Proganggasflaschen zu zweit	30	4.1	2	5	0.003	0.04669	2 Gasflaschen, einschließlich Transport im Arbeitsbereich, 2x
e) Heben und Absetzen eines Förderwagens	25	3.7	2	5	0.003	0.03803	einschließlich Transport im Arbeitsbereich, 2x
f) Bahnschwellen, 125 kg, zu zweit	63	6.5	48	2.5	0.033	1.40833	Schwellen (0,3 x 0,4 x 2,5 m) zu zweit, 4 x
g) Tragen von Bahnschwellen mit 4 Mann	63	4.8	12	10	0.033	0.76800	Trageentfernung 10 Meter
h) Heben und Absetzen von Gleissträngen mit 6 Mann	72	7.2	16	5	0.022	1.15200	Heben und Absetzen von 4 Gleissträngen (etwa 8 Meter, 54 kg pro Meter), 4 x, einschließlich Transport im Arbeitsbereich
gesamt			$D_R = \sqrt{\frac{\sum F_{L5}^2 \times t_i}{8 \text{ h}}} \times 8 \text{ h}$			7.1	kNh
*) entfällt, da wirksame Druckkraft < 3,2 kN							

Beispiel 2 – Straßenbauer:

Ein Straßenbauer hatte beim Verlegen von Rohrleitungen für Straßenabläufe u. a. 2,5 m³ Zementmörtel mit einer Mischmaschine pro Tag herzustellen (Tabelle 3). Hierzu musste er den Sand in die Mischmaschine schaufeln.

Volumen Zementmörtel $V_z = 2,5 \text{ m}^3$

Mischungsverhältnis von Mörtel: Sand : Zement : Wasser = 6 : 2 : 1 ergibt

Sandanteil $k = 6/9 = 2/3$

Dichte Sand $\rho_{sa} = 1,6 \text{ kg/dm}^3 = 1600 \text{ kg/m}^3$

Durchschnittliche Schaufelbeladung/Schaufelvorgang $m_s = 8 \text{ kg}$

Gesucht: Anzahl Schaufelvorgänge n_{8h}

$$n_{8h} = \frac{k \cdot V_z \cdot \rho_{sa}}{m} = \frac{\frac{2}{3} \cdot 2,5 \cdot 1600}{8} \frac{\text{m}^3 \cdot \text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{kg}} = 334 \approx 350$$

Tabelle 3: Tagesdosis nach MDD eines Straßenbauers

Straßenbauer Tätigkeits-Modul 2		Herstellen von Rohrleitungen für Straßenabläufe, incl. der erforderlichen Nebenarbeiten, für eine Kolonne von 4 Mann, je 20 Meter pro Mann und Tag = 80 Meter pro Tag						
Berechnung der Tagesdosis nach MDD								
	Tätigkeit	Gewicht der Last [kg]	Druckkraft auf L5/ S1 F _{L5} in [kN]	Häufigkeit der Hebe- oder Tragevorgänge pro Schicht	Dauer pro Hebe- oder Tragevorgang [s]	Dauer pro Schicht t _i in [h]	F _{L5} ² x t _i [kN ² h]	Erläuterungen
a)	Extreme Rumpfbeuge		1.7			0.200	0.57800	Schätzung nach TAD- Erfahrungen
b)	Schaufelarbeiten	---	3.5	350	2	0.194	2.38194	Schaufeln von Schüttgütern, z.B. Mörtel
c)	Anheben und Entleeren der Schubkarre, 150 kg, davon 1/3	50.0	5.6	33	5	0.046	1.43733	Schüttgüter z. B. Mörtel ca. 2,5 m ³ pro Mann und Tag = 33 Schubkarren
d)	Schubkarrentransport, 150 kg, davon 1/3	50.0	4.0	33	10	0.092	1.46667	Transportentfernung 10 Meter
e)	Heben und Absetzen von Sackgebinden	50.0	5.6	3	5	0.004	0.13067	1 Sack Zement zu 50 kg, einschließlich Transport im Arbeitsbereich, 3 x
f)	einhändiges Heben und Absetzen eines Eimers	20.0	4.4	2	5	0.003	0.05378	1 Eimer Mörtel für 2 Anschlüsse, einschließlich Transport im Arbeitsbereich, 2 x
g)	Heben und Absetzen von Rohren, z. B. Steinzeug DN 150, 1 Meter Länge	24.0	3.6	40	2.5	0.028	0.36000	20 m pro Mann und Tag = 20 Rohre, 2 x
h)	Anheben beim Verlegen von Rohren, z. B. Steinzeug DN 150, 1 Meter Länge	24.0	3.6	20	2.5	0.014	0.18000	20 Rohre, 1 x
i)	Tragen von Rohren, z. B. Steinzeug DN 150, 1 Meter Länge	24.0	3.1	20	10	0.056	entfällt*)	Trageentfernung 10 Meter
	gesamt			$D_R = \sqrt{\frac{\sum_i F_{L5}^2 \times t_i}{8 h}} \times 8 h$			7.3 kNh	
								*) entfällt, da wirksame Druckkraft < 3,2 kN

Beispiel 3 – Estrichleger:

Ein Einstrichleger (Maschinist) musste beim Einbau von Verbundestrich die Estrichfördermaschine befüllen. Die Tagesleistung betrug durchschnittlich 120 m² (Estrichdicke 4 bis 5 cm), was ca. 30 Mischungen entspricht. Pro Mischung waren 35 Schaufeln Sand in die Maschine zu schaufeln. Insgesamt ergibt das 1050 Schaufelvorgänge pro Tag (Tabelle 4).

Tabelle 4: Tagesdosis nach MDD eines Estrichlegers

Estrichleger/ Maschinist								
Tätigkeits-Modul 13								
Verbundestrich (i.M. 4 - 5 cm), Herstellen mit Estrichfördermaschine, 120 m ² / 3 Mann/ Tag einschl. anteilige Baustelleneinrichtung								
Berechnung der Tagesdosis nach MDD								
Tätigkeit	Gewicht der Last [kg]	Druckkraft auf L5/ S1 F _{L5} in [kN]	Häufigkeit der Hebe- oder Tragevorgänge pro Schicht	Dauer pro Hebe- oder Tragevorgang [s]	Dauer pro Schicht t _i in [h]	F _{L5} ² x t _i [kN ² h]	Erläuterungen	
Baustelleneinrichtung 3 Mann								
a)	Heben und Absetzen von Sackware	50	5.6	10	5	0.014	0.43556	Abladen von 30 Sack für 120 m ² = 5 m ³ , 3 Mann = 10 Sack pro Mann einschl. Transport im Arbeitsbereich
b)	Heben und Absetzen von Werkzeugen und Kleinteilen	15	2.9	5	2.5	0.003	entfällt*)	Verteilerbock, Lehren, Eimer, Glättkelle, Richtscheit u.ä., 15 x, 3 Mann, = 5 x je Mann
c)	Tragen von Werkzeugen und Kleinteilen	15	2.3	5	20	0.028	entfällt*)	Trageentfernung 20 m, Transport ins Gebäude
d)	Heben und Absetzen von Förderschläuchen	20	3.3	2	2.5	0.001	0.01513	Auf- und Abbau der Förderleitung, 3 x 2 Schläuche, 3 Mann = 1 x 2 Schläuche zu je 5 m und 10 kg, je Mann, 2 x
e)	Tragen von Förderschläuchen	20	2.7	2	10	0.006	entfällt*)	Trageentfernung 10 m, 1. Teilstück der Förderleitung
Estrichherstellung								
f)	extreme Rumpfbeugehaltung		1.7			0.100	0.28900	Schätzung nach TAD-Erfahrung
g)	Heben und Absetzen von Sackware	50	5.6	30	5	0.042	1.30667	30 Sack für 120 m ² Estrich, Anheben zum Verarbeiten einschl. Transport im Arbeitsbereich
h)	Heben/ Absetzen/ Entleeren von Sackware	25	3.7	60	2.5	0.042	0.57042	Heben und Entleeren der halbierten Sackware, 60 Stück
i)	Schaufeln von Sand für Estrichmischung	---	6.3	1050	1.5	0.438	17.08984	ca. 30 Mischungen, pro Mischung 35 Schaufeln Sand = 1050 Schaufelvorgänge
j)	Heben/ Absetzen/ Entleeren von Wasser, 1 Eimer	12	2.7	60	5	0.083	entfällt*)	ca. 30 Mischungen, pro Mischung 2 Eimer = 60 Eimer, einschl. Transport im Arbeitsbereich
	gesamt		$D_R = \sqrt{\frac{\sum F_{L5}^2 \times t_i}{8 h}} \times 8 h$				12.6	kNh
*) entfällt, da wirksame Druckkraft < 3,2 kN								

Die bis jetzt vorliegenden Erkenntnisse lassen vermuten, dass auch in anderen Berufszweigen Schaufeltätigkeiten mit der in etwa gleichen Wirbelsäulenbelastung wie im „Regelfall“ verbunden sind und nur in Ausnahmefällen ein besonders hohes Schaufeltempo mit der damit verbundenen Belastung wie beim Estrichleger gegeben ist.