

Körperhaltungen und Ganzkörper-Vibrationen

Postures and whole-body vibrations

Eine epidemiologische Pilotstudie

An epidemiological pilot study

N. Raffler, J. Rissler, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin;
E. Ochsmann, Westsächsische Hochschule Zwickau;
C. Schikowsky, T. Kraus, Institut für Arbeits- und Sozialmedizin, Universitätsklinikum der RWTH Aachen

Abstract

Whole-body vibrations and postural exposures have been measured simultaneously in the field at various workplaces. The exposures are characterised by the used mobile machinery, and the dependence of the exposures with regard to the workplaces has been described.

In addition, further co-factors and outcome data referring to low-back pain have been assessed by means of a questionnaire at similar workplaces. The exposure data have been extrapolated from the measured workplaces at the same companies.

Although a causal dose-response relation is not possible to infer from this study, a statistically significant correlation between the (extrapolated) exposure quantities and outcome data has been shown, thus validating the proposed exposure quantities.

1. Einleitung

Nach einer Studie der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin aus dem Jahr 2012 [1] sind 4,8 Millionen Arbeitnehmer durch ungünstige Körperhaltungen belastet und 1,5 Millionen Arbeitnehmer durch hohe Ganzkörper-Vibrationen und Stöße. Eine große Anzahl Arbeitnehmer gab darüber hinaus an, durch Lastenhandhabungen belastet zu sein (7,6 Millionen). Diese Belastungen stehen oft in Verbindung mit muskuloskeletalen Symptomen [2]. In derselben Studie werden von Schmerzen, die während oder unmittelbar nach der Belastung auftreten, am häufigsten die Schmerzen in der Lendenwirbelsäule

(Lumbal-syndrom), in der Halswirbelsäule und den Schultern angegeben; und über 60 % der Personen, die Schmerzen angegeben haben, sind in medizinischer Behandlung.

Weitere Studien, die die gesundheitlichen Beanspruchungen durch Ganzkörper-Vibrationen (GKV) untersuchen, haben zunehmend auf die Bedeutung weiterer Belastungsfaktoren wie Lastenhandhabungen, psychosozialer Stress und vor allem ungünstige Körperhaltungen hingewiesen [3]. So ist zum Beispiel eine Zunahme von Lendenwirbelsäulenbeschwerden bei Berufsfahrern mit zunehmender Belastung durch GKV und ungünstigen Körperhaltungen zu verzeichnen [4], [5], [6].

Andere epidemiologischen Studien [7], [8] untersuchen den Effekt zusätzlicher Belastungsfaktoren wie Körperhaltungsbelastung (Beugen/Drehen) und Heben bei Berufsfahrern. In diesen Studien haben die Belastungen „Oberkörper bei der Arbeit gebeugt“ und „Heben mit Beugen/Drehen“ einen signifikanten Effekt bei der Zunahme von Lendenwirbelsäulenbeschwerden während der Exposition gegenüber GKV gezeigt.

Es gibt auch biomechanische Studien, die den Effekt ungünstiger Körperhaltungen während einer Belastung durch GKV untersuchen. Fritz und Schäfer [9] haben die Kräfte, die in einem Starrkörpermodell der Lendenwirbelsäule übertragen werden, ausgewertet und haben die Effekte verschiedener Körperhaltungen während einer GKV-Belastung verglichen. Im Vergleich mit der aufrecht sitzenden Körperhaltung haben die vorgebeugten Körperhaltungen die zeitlichen Mittelwerte der Kompressionskräfte und Scherkräfte in der Richtung Rücken-Brust ansteigen lassen.

Morgan und Mansfield [10] haben eine Expertenbefragung durchgeführt zu den Effekten der gemeinsamen Belastung durch Oberkörperdrehung und GKV, wie sie in der Regel beim Führen von Fahrzeugen in der Landwirtschaft auftritt. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl die Fahrer als auch die Experten die Kombination der beiden Belastungen als Risikofaktor bei der Entstehung von Lendenwirbelsäulenbeschwerden angesehen haben.

Auch in Technischen Regelwerken [11], [12] wird darauf hingewiesen, dass Kombinationswirkungen mit weiteren Belastungen (zum Beispiel durch ungünstige Körperhaltungen) beim Bewerten der GKV-Belastung zu berücksichtigen sind. Dabei sind die Effekte von ungünstigen Körperhaltungen während der GKV-Belastung quantitativ noch nicht im Detail untersucht worden.

Um in Feldmessungen Körperhaltungen zusammen mit GKV zu messen, kann das CUELA-Messsystem („Computer-Assisted-Recording-and-Long-term-Analysis“) zusammen mit normgerechter Messtechnik für GKV eingesetzt werden [13], [14]. Das CUELA-Messsystem erlaubt eine quantitative Analyse der Körperhaltungen über die gemessenen Körperwinkel

während GKV-Belastungen und ist daher ein geeignetes Mittel, um die Kombination dieser Belastungen objektiv zu vergleichen.

Zwar haben mehrere Studien den zusätzlichen Effekt ungünstiger Körperhaltungen während GKV-Belastungen durch Beobachtungsmethoden und Selbsteinschätzungen bestätigt. Es fehlen aber bisher Untersuchungen, bei denen das Verhältnis der Kombinationsbelastungen zu Rückenbeschwerden auf der Grundlage von Messungen erfolgt. Das Ziel der vorliegenden Pilotstudie [15] ist es, zu überprüfen, ob die vorhandenen Methoden [13], [14] geeignet sind, den Zusammenhang zwischen der Kombinationsbelastung (Haltungen/GKV) und Rückenbeschwerden beschreiben.

2. Methoden

2.1 Probandenauswahl

Da es in dieser Studie nicht um eine kausale Dosis-Wirkungs-Beziehung geht, sind die Probanden nach Experteneinschätzung ausgewählt worden, wobei die folgenden Kriterien berücksichtigt worden sind:

1. Die gemessenen Arbeitsbelastungen sollten die bisherige Lebensbelastung der Probanden widerspiegeln (GKV-Belastung für 10 und mehr Jahre, mindestens ein Jahr GKV-Belastung im jetzigen Betrieb).
2. Die Probanden sollten ein ähnliches Alter haben (40 bis 50 Jahre).
3. Die Probanden sollten vor ihrer beruflichen Belastung und am Tag der Messung keine Muskel-Skelett-Beschwerden gehabt haben.
4. Es sollten günstige und ungünstige Körperhaltungen vertreten sein, sowie hohe und niedrige GKV-Belastungen (Busse und Lokomotiven (Gruppe 1), Krane und Portalkrane (Gruppe 2), Erdbaumaschinen (Gruppe 3), Gabelstapler (Gruppe 4)).

Bei den Arbeitsplätzen der Gruppe 1 in Bussen und Lokomotiven wird angenommen, dass die Probanden meist in einer aufrecht sitzenden Haltung vergleichsweise geringen GKV-Belastungen ausgesetzt sind. Die Arbeitsplätze der Gruppe 2 bei Kranen und Portalkranen sollten dadurch gekennzeichnet sein, dass die Probanden nach vorn gebeugt sind, um die Lasten zu beobachten, wobei die GKV-Belastung ähnlich gering sein sollen wie in Gruppe 1. Die Arbeitsplätze der Gruppe 3 sollte eine höhere Schwingungsbelastung als die Gruppen 1 und 2 aufweisen, wobei durch die verschiedenen Fahrzeugarten und Arbeitsbedingungen eine große Streuung von GKV- und Körperhaltungsbelastungen zu erwarten ist. Bei den Gabelstaplerfahrern sollte schließlich eine höhere GKV-Belastung vorliegen als bei den Gruppen 1 und 2, wobei die Körperhaltungen wegen der vielen Vorwärts- und Rückwärtsfahrten durch stärkere Rotationen geprägt sein sollten.

Durch die Kriterien 1-3 kann erwartet werden, dass der Effekt des Alters auf die Beanspruchungsdaten geringer sein wird als bei Studien ohne Altersbeschränkung, und dass die gemessenen Belastungen einen guten Anhaltspunkt für die Lebensbelastung ergeben.

Die Probanden haben freiwillig an der Studie teilgenommen und Einverständniserklärungen unterzeichnet. Die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der RWTH-Aachen hat die Studie und das Studiendesign gebilligt.

Insgesamt haben 129 Probanden aus zehn Unternehmen an der Studie teilgenommen. Bei insgesamt 58 Probanden sind die Belastungen durch Körperhaltungen und GKV gemessen worden. Von diesen haben 31 Probanden auch einen Fragebogen ausgefüllt, der Fragen zur Arbeitsanamnese, weiteren Belastungsfaktoren und Muskel-Skelett-Beschwerden enthalten hat (modifizierter Nordic-Questionnaire [16]). Bei den restlichen 71 Probanden ist die Arbeitsplatzbelastung nicht gemessen worden. Sie haben aber an der Befragung teilgenommen.

2.2 Messungen: GKV und Körperhaltungen

2.2.1 Messungen - GKV

Die Messung und Analyse der GKV erfolgt auf der Grundlage der gültigen Normen [17], [18] entlang der orthogonalen Achsen $l = \{x, y, z\}$ (x Brust-Rücken, y Schulter-Schulter, z entlang der Wirbelsäule) auf der Sitzfläche.

Die Messdauer T_M ist lang genug gewesen, damit die Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigungen a_{wl} repräsentativ für die Arbeitsbedingungen sind. Diese sind quadratische Mittelwerte des zeitabhängigen frequenzbewerteten Beschleunigungen $a_{wl}(t)$, die mit einer Abtastrate von 480 Hz gemessen worden sind.

$$a_{wl} = \left(\frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} a_{wl}^2(t) dt \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Eine weitere Möglichkeit, die GKV-Belastung eines Arbeitsplatzes zu beschreiben, ist der Schwingungsgesamtwert, wobei in x- und y-Richtung der Faktor von 1,4 zu berücksichtigen ist, der bei Gesundheitsgefährdungen notwendig ist:

$$a_{v1.4} = \sqrt{1,4^2 a_{wx}^2 + 1,4^2 a_{wy}^2 + a_{wz}^2} \quad (2)$$

Schließlich wird der Tages-Vibrationsexpositionswert $A(8)$ nach der EU-Richtlinie [19] aus dem größten Wert der a_{wl} und der täglichen Einwirkungsdauer T gebildet:

$$A(8) = \max \left\{ 1,4 a_{wx} \sqrt{\frac{T}{8h}}; 1,4 a_{wy} \sqrt{\frac{T}{8h}}; a_{wz} \sqrt{\frac{T}{8h}} \right\} \quad (3)$$

Damit entspricht Gleichung (3) in den meisten Fällen auch dem Tages-Vibrationsexpositionswert, wie er nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung zu bilden ist [11].

2.2.2 Messungen - Körperhaltungen

Die Körperhaltungen der Probanden ist mit dem CUELA-System gemessen worden [13], [14], das aus Gyroskopen, Beschleunigungssensoren und Potentiometern besteht, die auf der Kleidung der Probanden befestigt werden, ohne deren Arbeiten zu behindern. Tabelle 1 zeigt, wie die Sensoren angebracht sind, und welche Körperwinkel oder Freiheitsgrade (DOF, „degree of freedom“) gemessen werden.

Die Bewegungen werden mit einer Abtastrate von 50 Hz gemessen, wobei nur Signalanteile unterhalb von 10 Hz ausgewertet werden (Tiefpassfilter). Zu Beginn der Messung werden die Nullpunkte aller Körperwinkel festgelegt (initialisiert). Dazu nimmt der Proband die Neutral-Null-Stellung ein: aufrecht stehend, Blick nach vorn. Während der Messung können Artefakte durch eine Videoaufzeichnung erkannt und aus der Bewertung entfernt werden; etwa wenn Sensoren durch die Kleidung oder die Rückenlehne gestört werden sollten. Um die Genauigkeit der Messung zu beschreiben, sind die Mediane der Differenzen in der Neutral-Null-Stellung vor und nach der Messung untersucht worden. Sie lagen je nach Körperwinkel zwischen 1,7° und 5,1°.

Tabelle 1: CUELA-Messsystem



Körperregion der Sensoranbringung	Aus den Sensordaten abgeleitete Körperwinkel
Kopf	Kopfneigung (lateral/sagittal)
	Halsbeugung (lateral/sagittal)
	Hals-Torsion
Brustwirbelsäule (BWS)	Brustneigung (lateral/sagittal)
	Rumpfneigung (lateral/sagittal)
Lendenwirbelsäule (LWS)	Rückenbeugung (lateral/sagittal)
	Rücken-Torsion
Oberschenkel	Hüftbeugung, -streckung
Unterschenkel	Kniebeugung, -streckung

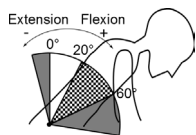
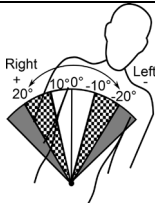
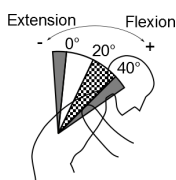
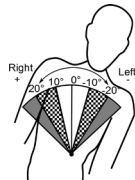
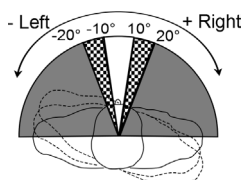
Von den gemessenen Körperwinkeln sind nur die elf ausgewertet worden, die den Oberkörper betreffen. Um diese Messwerte der Körperwinkel zu bewerten, sind in Tabelle 2 drei Kategorien (neutral, moderat, ungünstig) vorgestellt. Dieses Einteilen der Messbereiche der Körperwinkel beruht auf gültigen Normen für statische (Zwangs-)Haltungen [20], [21]. Damit wird hier ein ‚quasi-statisches‘ Verfahren genutzt, um Körperhaltungen zu bewerten, das heißt, es unterscheidet nicht zwischen abrupten Haltungswechseln (etwa nach Stößen) und langsamen, bewussten Haltungsänderungen. Eine ‚dynamische‘ Bewertung ist durch Verfahren möglich, wie sie zum Beispiel Rahmatalla und DeShaw [23] formuliert haben. Mit der Bewertung aus Tabelle 2 können die Anteile der Messdauer bestimmt werden, während derer sich jeder Körperwinkel in einer der drei Kategorien befindet, woraus sich ein Index R_{DOF} bilden lässt [13], der die Anteile nicht-neutraler Körperhaltungen zusammenfasst.

$$R_{DOF} = \sum_{i=1}^{11} c_i ; c_i = \begin{cases} 0 & \text{wenn } \frac{t_{a,i}}{T_M} \cdot 100\% < 30\% \\ 1 & \text{wenn } \frac{t_{a,i}}{T_M} \cdot 100\% \geq 30\% \end{cases} \quad (4)$$

Wenn für den i -ten Körperwinkel die Messdauer in nicht-neutralen Kategorien ($t_{a,i}$) mehr als 30 % der Messdauer beträgt, wird dieser als ungünstig gewertet und der Index R_{DOF} erhöht sich um eins. Der Index R_{DOF} beschreibt also die Anzahl der Körperwinkel mit relevanten Anteilen im nicht-neutralen Bereich und kann in dieser Studie zwischen 0 und 11 liegen.

Tabelle 2: Kategorien für Messwerte von Körperwinkeln (Oberkörper)

Kategorie	Körperwinkel					
	Kopf- neigung (sagittal)	Hals- krümmung (sagittal)	Hals- krümmung (lateral)	Hals- Torsion	Brust- neigung (sagittal)	Brust- neigung (lateral)
neutral	0° - 25° oder <0° gestützt	0° - 25°	-10° - 10°	-45° - 45°	0° - 20°	0° - 10°
moderat	25° - 85°				20°-60°	(+/-)10°- (+/-)20°
Ungünstig	< 0° oder > 85°	< 0° oder > 25°	< -10° oder > 10°	<-45° oder >45°	< 0° oder > 60°	<-20° oder > 20°

Kategorie	Körperwinkel				
	Rumpf- neigung (sagittal)	Rumpf- neigung (lateral)	Rücken- krümmung (sagittal)	Rücken- krümmung (lateral)	Rücken-Torsion
					
neutral	0° - 20° oder <0° gestützt	0° - 10°	0° - 20°	0° - 10°	-10° - 10°
moderat	20° - 60°	10° - 20°	20° - 40°	10° - 20°	10° - 20°
ungünstig	< 0° oder > 60°	<-20° oder > 20°	< 0° oder > 40°	<-20 oder > 20°	<-10 oder > 10°

2.2.3 Kennwert für die Kombination aus Körperhaltungen und GKV

Um die Messwerte für Körperhaltungen und GKV in einem Kennwert zusammenzufassen, ist ein Modell untersucht worden, das auf der Bewertung der Körperhaltungen nach Tabelle 2 beruht, und das die Belastung durch Körperhaltungen und GKV linear kombiniert [13].

Das Modell baut auf der Beschreibung von Gleichung (4) auf, dabei werden für jeden Körperwinkel die Werte nach Tabelle 2 und gleichzeitig die Schwingungsgesamtwerte $a_{v1.4}$ bewertet. Für die GKV-Messwerte werden auch drei Kategorien gebildet: „niedrig“ $a_{v1.4} < 0,5 \text{ ms}^{-2}$; „mittel“ $0,5 \text{ ms}^{-2} \leq a_{v1.4} < 1,0 \text{ ms}^{-2}$; „hoch“ $a_{v1.4} \geq 1,0 \text{ ms}^{-2}$. Es wird nun die Messdauer $t_{h,i}$ bestimmt, in dem die Messwerte des i -ten Körperwinkel nicht in die Kategorie „neutral“ fallen **und** die GKV-Messwerte gleichzeitig nicht „niedrig“ sind. Sollte der Anteil der $t_{h,i}$ mehr als 30 % der Messdauer betragen, wird wieder ein Index um eins erhöht. Dieser Index heißt nun R_{WBV-P} , da er GKV- und Haltingsdaten berücksichtigt (englisch: wbv „whole-body-vibration“; p „posture“). Er kann wiederum in dieser Studie Werte zwischen 0 und 11 annehmen.

$$R_{WBV-P} = \sum_{i=1}^{11} c_i ; c_i = \begin{cases} 0 & \text{if } \frac{t_{h,i}}{T_M} \cdot 100\% < 30\% \\ 1 & \text{if } \frac{t_{h,i}}{T_M} \cdot 100\% \geq 30\% \end{cases} \quad (5)$$

2.3 Fragebögen - Beschwerdeermittlung

Die Probanden sind zu der GKV-Belastung in ihrem Berufsleben befragt worden (Arbeitsanamnese) sowie zu weiteren Belastungsfaktoren wie Lastenhandhabungen und psychosozialem Stress. Aus den sich daraus ergebenden Belastungsfaktoren haben allein Angaben zur Lastenhandhabungen eine Korrelation in der Auswertung ergeben [15], weswegen hier nicht weiter auf diese Belastungsfaktoren eingegangen wird.

Um die Beschwerden zu erfassen, ist ein modifizierter Nordic Questionnaire verwendet worden [16]. Hier werden die Probanden gefragt, ob im letzten Jahr Schmerzen in der Hals- und Schulterregion, sowie im Bereich des oberen und unteren Rückens aufgetreten sind. Außerdem ist erfasst worden, wie ob im letzten Jahr die Probanden wegen der angegebenen Muskel-Skelett-Beschwerden arbeitsunfähig gewesen sind.

Daraus ergeben sich drei Wirkungsvariablen für diese Studie in Bezug auf Lendenwirbelsäulenbeschwerden:

1. Jahresprävalenz (12m-LS): ein Tag oder mehr im letzten Jahr mit Beschwerden im Bereich der Lendenwirbelsäule (LS) mit und ohne Schmerzen, die in die Beine ausstrahlen.
2. Arbeitsunfähig (12m-AU): Ein oder mehr Tage arbeitsunfähig (AU) wegen Lendenwirbelsäulenbeschwerden im letzten Jahr

3. Ergebnisse

3.1 Belastung: Messung der Kombinationsbelastung

3.1.1 Probandengruppe

In dieser Gruppe sind 58 Probanden untersucht worden. Auf die Gruppe 1 (Busse-Lokomotiven) entfallen 10 Probanden, 19 Probanden sind in Gruppe 2 (Krane-Portalkrane). Außerdem sind 20 Erdbaumaschinenführer (Gruppe 3) und 9 Gabelstaplerfahrer untersucht worden.

Das Alter der Probanden beträgt im Durchschnitt 46,1 Jahre, ein Teil der Probanden ist aber jünger als 40 und älter als 50 Jahre gewesen (Standardabweichung 8,4 Jahre). Die Probanden sind im Mittel 22,9 Jahre GKV-Belastungen ausgesetzt gewesen (Standardabweichungen 9,7 Jahre). Davon entfallen auf den jetzigen Betrieb im Mittel 21,6 Jahre (Standardabweichung 9,9 Jahre). Insgesamt sind damit die Kriterien 1-3 aus Abschnitt 2.1 eingehalten worden.

3.1.2 Messungen - GKV

Der Mittelwert und die Standardabweichung der Effektivwerte für frequenzbewertete Beschleunigungen a_{wl} , gemessen auf der Sitzfläche, sind in in Tabelle 3 angegeben für verschiedene Fahrzeuggruppen, die gemessen worden sind.

Tabelle 3: Effektivwerte von frequenzbewerteten Beschleunigungen a_{wl} in den drei Richtungen l , gemessen auf der Sitzfläche, und Schwingungsgesamtwerte $a_{v1.4}$. Angegeben sind Mittelwerte aller Messungen und Standardabweichungen in Klammern. Unter Berücksichtigung der angegebenen Einwirkungsauern wird aus den a_{wl} der Tages-Vibrationsexpositionswert $A(8)$ nach Gleichung (3) gebildet.

Gr.	Fahrzeug (Anzahl)	Messdauer [min]	Kennwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung [ms^{-2}]				
			a_{wx}	a_{wy}	a_{wz}	$a_{v1.4}$	$A(8)$
1	Bus (4)	108 (9)	0,12 (0,01)	0,13 (0,01)	0,20 (0,01)	0,32 (0,01)	0,20
	Lokomotive (6)	85 (22)	0,10 (0,04)	0,15 (0,04)	0,18 (0,03)	0,29 (0,04)	(0,02)
2	Kran (13)	74 (13)	0,11 (0,04)	0,11 (0,05)	0,16 (0,11)	0,27 (0,14)	0,17
	Portalkran (6)	98 (20)	0,21 (0,02)	0,11 (0,04)	0,17 (0,03)	0,37 (0,04)	(0,05)
3	Muldenkipper (8)	83 (14)	0,32 (0,11)	0,43 (0,15)	0,50 (0,24)	0,91 (0,33)	
	Bagger (5)	76 (14)	0,43 (0,10)	0,26 (0,08)	0,31 (0,14)	0,78 (0,17)	
	Radlader (2)	91 (11)	0,52 (0,06)	0,58 (0,01)	0,43 (0,11)	1,18 (0,08)	0,59
	Planierdraupe (3)	88 (16)	0,34 (0,04)	0,25 (0,09)	0,42 (0,14)	0,73 (0,17)	(0,17)
	Grader (1)	71 ()	0,22 ()	0,25 ()	0,28 ()	0,54 ()	
	Walze (1)	50 ()	0,24 ()	0,38 ()	0,27 ()	0,69 ()	
4	Gabelstapler (9)	79 (25)	0,24 (0,03)	0,23 (0,04)	0,27 (0,13)	0,56 (0,06)	0,35 (0,05)

Die Messdauern liegen im Mittel zwischen 50 Minuten für die Walze und 108 Minuten für die Busse, was ausgereicht hat, um die jeweiligen Arbeitsbedingungen repräsentativ zu erfassen. In den meisten Fällen sind die Beschleunigungen in der z-Achse dominant. Bei den Portalkranen und Baggern hingegen sind die Effektivwerte in x-Richtung am größten, und bei den Radladern und der Walze sind die Effektivwerte in y-Richtung am größten. Der Schwingungsgesamtwert liegt zwischen $0,27 \text{ ms}^{-2}$ für Lokomotiven und Kane sowie $1,18 \text{ ms}^{-2}$ für Radlader.

Die Daten in Tabelle 1 zeigen, dass das Kriterium 4 aus Abschnitt 2.1 zur Gruppeneinteilung gerechtfertigt ist: die GKV-Belastung der Gruppen 1 (Bus, Lokomotive) und 2 (Kran, Portalkran) sind sowohl innerhalb als auch zwischen den Gruppen ähnlich. Die Gruppen 3 (Erdbaumaschinen) und 4 (Gabelstapler) haben im Vergleich dazu höhere GKV-Belastungswerte. Dabei ist die GKV-Belastung durch die Erdbaumaschinen durch die verschiedenen Maschinen wie erwartet sehr unterschiedlich

3.1.3 Messungen - Körperhaltungen

Die Verteilung der Messwerte für die Körperhaltungen der 58 Probanden ist in Bild 1 gemittelt über die vier Gruppen aus Abschnitt 2.1 dargestellt. In dieser Darstellung sind „moderate“ und „ungünstige“ Bereiche aus Tabelle 2 mit derselben grauen Schattierung versehen.

Durch das Vorbeugen der Kran und Portalkranfahrer (siehe Abschnitt 2.1) aus Gruppe 2 liegen die Messwerte für die Körperwinkel in der sagittalen Ebene (Kopfneigung, Halskrümmung, die Brust- und Rumpfneigung) meistens über denen der anderen Gruppen, besonders im Vergleich mit Gruppe 1.

Bei den Gabelstaplerfahrern der Gruppe 4 führt das häufigere Rückwärtsfahren (siehe Abschnitt 2.1) dazu, dass die Spanne zwischen dem 5. und 95. Perzentil (und oft auch zwischen dem 25. und 75. Perzentil) vor allem bei den lateralen Körperwinkeln und Torsionen größer ist als bei den anderen Gruppen: Die Probanden in dieser Gruppe müssen sich mehr und über einen größeren Winkelbereich bewegen.

Tabelle 4 gibt Mittelwerte für die Zeitanteile an, die während der Messung für jeden DOF im nicht-neutralen Bereich liegen. Wie aus Bild 1 zu erwarten ist, sind für die (Portal-)Kranfahrer aus Gruppe 2 die Zeitanteile in nicht-neutralen Bereichen für die sagittalen Körperwinkel am höchsten. Auffällig sind in dieser Gruppe sind die Rumpf- und Kopfneigung, die zu 84 % und 78 % im nicht-neutralen Bereich liegen.

Bei den Gabelstaplerfahrern aus Gruppe 4 sind im Mittel die lateralen Körperwinkel und die Torsionen höher als bei den Probanden der anderen Gruppen. Dies ist auch in Bild 1 an den größeren Spannen zwischen den Perzentilwerten für diese Körperwinkel abzulesen. Diese Körperhaltungen werden durch das häufige Umdrehen beim Rückwärtsfahren bedingt und können unter Umständen stärker den Schulter-Nacken-Bereich belasten, was hier allerdings nicht untersucht worden ist.

Aus den Zeitanteilen berechnet sich R_{DOF} für jeden Probanden, was im zweiten Teil der Tabelle 4 aufgeführt ist. Die R_{DOF} -Werte betragen maximal $R_{\text{DOF}} = 4$. Sie sind für die Gruppe 2 am höchsten, was durch die Belastungen der sagittalen Körperwinkel begründet ist. Für die anderen Gruppen lassen sich kaum Unterschiede in diesem Kennwert ausmachen.

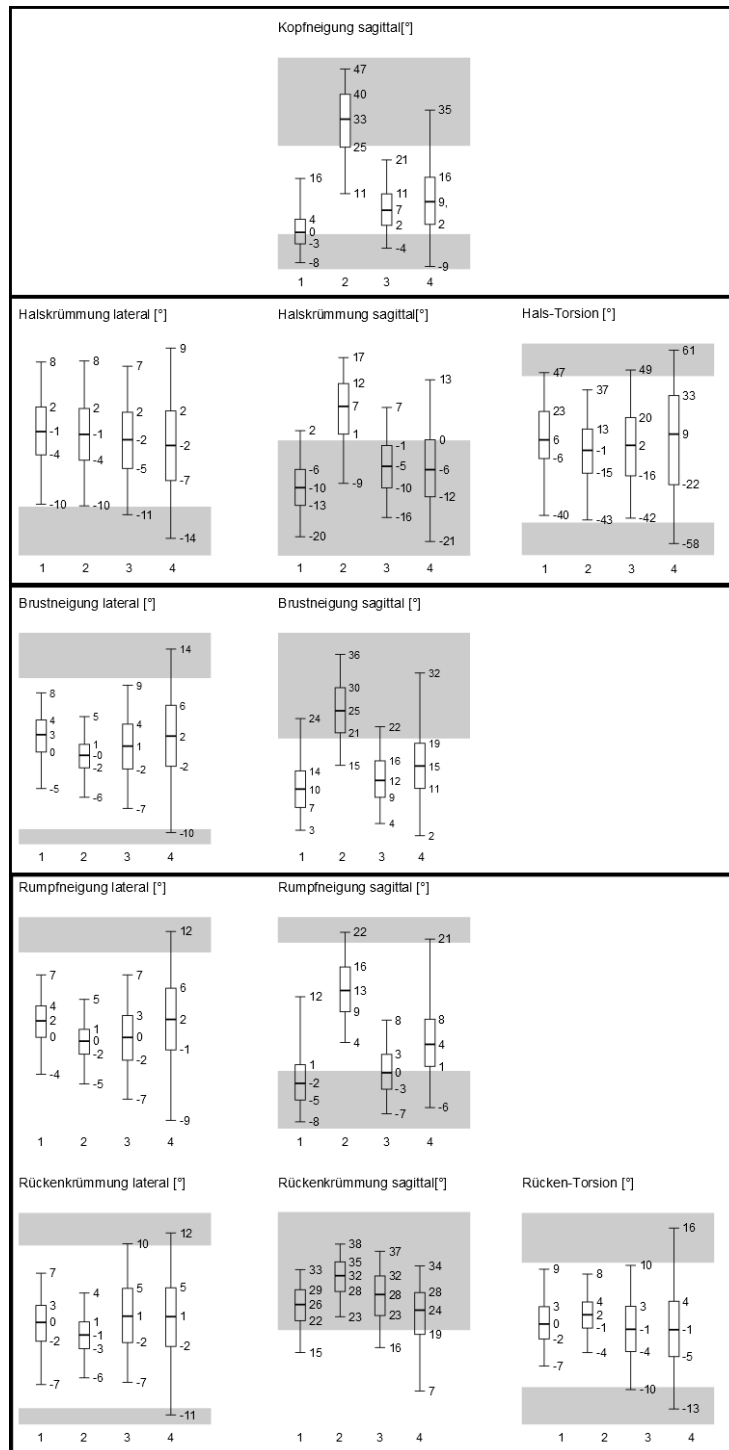


Bild 1: Verteilung der gemessenen Werte für die Körperwinkel der Probanden nach Gruppen der benutzten Fahrzeuge (Gruppe 1 Busse-Lokomotiven, Gruppe 2 Krane-Portalkrane, Gruppe 3 Erdbaumaschinen, Gruppe 4 Gabelstapler). Die Boxplots geben das 5., 25., 50., 75. und 95. Perzentil der Messwerte an. Nach Tabelle 2 sind Werte im neutralen Bereich ohne Hintergrund, nicht-neutrale Bereiche sind grau hinterlegt.

Tabelle 4: Zeitanteile in Prozent, in denen die angegebenen Körperwinkel im nicht-neutralen Bereich liegen für. Angegeben sind Mittelwerte der Probanden (Standardabweichung) nach Fahrzeuggruppen (Gruppe 1 Busse-Lokomotiven, Gruppe 2 Krane-Portalkrane, Gruppe 3 Erdbaumaschinen, Gruppe 4 Gabelstapler). Im unteren Teil ist die Anzahl der Probanden angegeben, die einen bestimmten Wert für RDOF erreicht haben.

Körperwinkel/Freiheitsgrad	Fahrzeuggruppe			
	1	2	3	4
Kopfneigung sagittal	25 (24)	64 (26)	13 (11)	26 (10)
Halskrümmung sagittal	71 (28)	29 (23)	57 (26)	54 (13)
Halskrümmung lateral	17 (17)	13 (12)	13 (13)	21 (13)
Hals-Torsion	14 (8)	15 (12)	15 (12)	25 (18)
Brustneigung sagittal	17 (17)	76 (25)	18 (22)	31 (26)
Brustneigung lateral	7 (8)	5 (6)	9 (6)	19 (12)
Rumpfneigung sagittal	27 (27)	21 (27)	28 (28)	30 (21)
Rumpfneigung lateral	8 (15)	4 (5)	6 (6)	16 (13)
Rückenkrümmung sagittal	63 (37)	84 (25)	77 (27)	57 (36)
Rückenkrümmung lateral	18 (27)	16 (23)	18 (21)	19 (11)
Rücken-Torsion	17 (15)	17 (21)	26 (22)	37 (21)
Anzahl Probanden mit				
$R_{DOF}=0$	2	2	7	4
$R_{DOF}=1$	3	2	6	3
$R_{DOF}=2$	2	7	6	2
$R_{DOF}=3$	3	5	1	-
$R_{DOF}=4$	-	3	-	-

3.1.3 Messungen – Körperhaltungen und GKV-Belastungen

Kombiniert man die beiden gemessenen Belastungen zum Kennwert R_{WBV-P} nach Gleichung (5) so ergeben sich für die Probanden die Werte in Tabelle 5. Der Kennwert R_{WBV-P} nimmt notwendigerweise höhere Werte an als der Kennwert R_{DOF} , der nur die Körperhaltungen beschrieben hat. Dadurch dass die Probanden, die mit Gabelstaplern und Erdbaumaschinen gearbeitet haben, höheren Schwingungsbelastungen ausgesetzt gewesen sind als die Probanden der anderen beiden Gruppen, ist die Zunahme bei diese Probanden deutlich zu sehen. Vor allem die Probanden der Gruppe 3 (Erdbaumaschinen) erreichen nun die höchsten R_{WBV-P} -Werte.

Tabelle 5: Anzahl der Probanden, die einen bestimmten Wert für R_{WBV-P} erreicht haben, nach Fahrzeuggruppen (Gruppe 1 Busse-Lokomotiven, Gruppe 2 Krane-Portalkrane, Gruppe 3 Erdbaumaschinen, Gruppe 4 Gabelstapler)

Anzahl Probanden	Fahrzeuggruppe			
	R_{WBV-P}	1	2	3
0	1	1	-	1
1	3	2	3	1
2	2	6	4	5
3	4	6	6	2
4	-	3	2	-
5	-	-	2	-
6	-	-	1	-
7-10	-	-	-	-
11	-	-	2	-

3.2 Beanspruchung: Befragung zu Rückenbeschwerden

3.2.1 Probandengruppe

Von den 58 Probanden, bei denen die Kombinationsbelastung aus Körperhaltungen und GKV-Belastung gemessen worden ist, haben 31 an einer Befragung über ihre Beanspruchung teilgenommen (Abschnitt 2.3). Weitere 71 Probanden aus denselben Betrieben haben auch an dieser Befragung teilgenommen, ohne dass ihre Belastungen gemessen worden sind. Für diese 71 Probanden ist angenommen worden, dass ihre Belastungen im Mittel denen ihrer Kollegen aus denselben Betrieben bestehen, wenn vergleichbare Arbeiten durchgeführt worden sind.

Damit ergibt sich für diesen Abschnitt eine Stichprobe von insgesamt 102 Probanden, für die auch die Auswahlkriterien aus Abschnitt 2.1 angewandt worden ist. Dies führt, wie bei der Stichprobe für die Messungen zu einem Durchschnittsalter zwischen 40 und 50 Jahre: Mittelwert 43,9 Jahre (Standardabweichung 7,9 Jahre). Die Probanden sind im Mittel 18,6 Jahre GKV-Belastungen ausgesetzt gewesen (Standardabweichungen 9,8 Jahre). Davon entfallen auf den jetzigen Betrieb im Mittel 15,7 Jahre (Standardabweichung 8,6 Jahre). Die Jahre mit Exposition sind bei dieser Stichprobe etwas geringer als bei der Stichprobe für die Messungen, insgesamt ist die Stichprobenszusammensetzung in beiden Fällen aber vergleichbar, sodass erwartet werden kann, dass das Alter eine geringere Auswirkung auf die Beschwerdedaten hat als bei Studien ohne Altersbeschränkung. Außerdem sollte die in der Studie ermittelte Belastung ein guter Anhaltspunkt für die Lebensbelastung sein.

3.2.2 Zusammenhang Belastung - Beanspruchung

Die Angaben der Probanden zu den Beanspruchungskriterien aus Abschnitt 2.3 sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Die Gruppe der Busfahrer und Lokomotivführer (Gruppe 1) zeigt den geringsten Anteil an Beschwerden. Diese Gruppe wird daher die Rolle einer Kontrollgruppe einnehmen. Aus den Ergebnissen in Abschnitt 3.1 kann vermutet werden, dass die Zunahme der Beschwerden auf größere Belastungen durch Körperhaltungen (Gruppe 2) und/oder größere Belastungen durch GKV und Körperhaltungen (Gruppen 3, 4) zurückzuführen ist.

Tabelle 6: Angaben der Probanden zur Jahresprävalenz von Lendenwirbelsäulenbeschwerden (12m-LS) und Arbeitsunfähigkeitstagen (12m-AU) nach Abschnitt 2.3

Anzahl Probanden	Maschinengruppe			
	1	2	3	4
12m-LS ja/nein	4 / 8	20 / 19	18 / 8	9 / 16
12m-AU ja/nein	0 / 12	18 / 19	7 / 19	5 / 19

Vor allem die Zunahme der Beschwerden für die Gruppen 3 und 4 ist aus den Angaben der Tabelle 6 und den Ergebnissen aus Abschnitt 3.1 allein nicht möglich. Durch eine genauere Analyse kann aber zumindest rein statistisch gezeigt werden, dass ein Zusammenhang zwischen den gemessenen Belastungen und den Beschwerdeangaben für diese Stichprobe angegeben werden kann, deren Einzelheiten in [15] zusammengefasst sind.

1. Univariate Analyse

Dazu werden in einem ersten Schritt alle Angaben zu den Belastungen aus den Messungen und den Befragungen einer univariaten logistischen Regressionsanalyse unterzogen, um diejenigen Variablen zu identifizieren, die für sich genommen schon einen Einfluss auf die Beschwerdedaten haben. Dabei zeigt sich, dass von den untersuchten Schwingungskennwerten nur $A(8)$ mit der Jahresprävalenz von Rückenbeschwerden (12m-LS) verbunden ist. Um den Effekt besser vergleichen zu können ist der $A(8)$ mit 10 multipliziert worden ($A(8) \times 10$ in Tabelle 6). Mit diesem Wert ergibt sich ein Odds-Ratio von 1,33 (Konfidenzintervall 1,03-1,72; $p < 0,05$), was bedeutet, dass das Auftreten von Rückenbeschwerden in dieser Stichprobe mit Zunahme des $A(8)$ von $0,1 \text{ m/s}^2$ um 33 %

zunimmt. Durch die Auswahl der Stichprobe zeigen das Alter und Lebensdosismodelle hier keine Korrelation.

Für die Körperhaltungen zeigt der Kennwert R_{DOF} ein Odds-Ratio von 1,72 (Konfidenzintervall 1,18-2,5, $p < 0,01$) in Bezug auf das Auftreten von Arbeitsunfähigkeit (12m-AU). Die Anteile im nicht-neutralen Bereich der einzelnen Körperwinkel zeigen hingegen keinen klaren Zusammenhang mit den Beschwerdevariablen.

Von den weiteren Belastungsdaten hat das Vorhandensein von Lastenhandhabungen (dichotome Fragen zu Tragen, Heben, Ziehen) einen signifikanten Zusammenhang mit beiden Beschwerdevariablen ergeben.

2. Variablenauswahl

In diesem Schritt werden Belastungsdaten zusammengetragen, die nicht (linear) voneinander abhängig sind. So ist R_{DOF} abhängig von den Anteilen im nicht-neutralen Bereich der einzelnen Körperwinkel. Aufgrund der univariaten Analyse ist R_{DOF} als Variable gewählt worden, um den Einfluss der Körperwinkel im abschließenden Modell wiederzugeben. Auch die Fragen zu Lastenhandhabungen sind voneinander abhängig gewesen, sodass nur die Frage zum Heben (ja/nein) als Variable weiter verwendet worden ist.

Neben den Belastungsdaten, die eine Korrelation mit Beschwerdedaten gezeigt haben ($A(8)$, R_{DOF} , Heben(ja/nein)), sind auch weitere Belastungsdaten aus den Fragebögen in die Liste der möglichen Variablen aufgenommen worden, um ausschließen zu können, dass sie einen Effekt zeigen. Darunter fallen: Alter, Gewicht, Familienstand, Sport, Ausbildung, Gartenarbeit, Schichtarbeit, Arbeitszufriedenheit, Arbeitskontrolle, Soziale Unterstützung, Arbeitsplatzsicherheit.

3. Modellbildung - Ergebnis

Mit der Liste aus Schritt 2 ist eine logistische Regressionsanalyse durchgeführt worden, wobei der $A(8)$ unabhängig vom Signifikanztest in die Modelle aufgenommen worden ist. Alle Variablen sind schrittweise überprüft worden und auf dem 5 % Signifikanz-Niveau in das Modell übernommen worden, wenn ein Einfluss auf die Beschwerdevariablen besteht. In Tabelle 6 ist zu sehen, dass für die Jahresprävalenz von Rückenbeschwerden ein Zusammenhang nur mit dem $A(8)$ und R_{DOF} besteht.

Für die Arbeitsunfähigkeitstage kommt noch ein Term für Heben hinzu, und der $A(8)$ zeigt in diesem Modell keinen statistisch signifikanten Zusammenhang mit der Beschwerdevariablen.

Ein Test, auf die Wechselwirkung von $A(8)$ und R_{DOF} hat keinen signifikanten Einfluss ergeben, sodass in dieser Stichprobe ein rein linearer Zusammenhang zwischen $A(8)$, R_{DOF} und den Beschwerdevariablen besteht.

Dies wird auch deutlich, wenn man untersucht, ob R_{WBV-P} einen Einfluss auf die Beschwerdevariablen hat, der eine lineare Kombination aus GKV- und Körperhaltungsvariablen darstellt: Für das Vorhandensein von Arbeitsunfähigkeitstagen aufgrund von Rückenbeschwerden gibt es einen signifikanten Zusammenhang mit R_{WBV-P} .

Tabelle 6: Regressionsmodelle zur Jahresprävalenz von Lendenwirbelsäulenbeschwerden (12m-LS) und Arbeitsunfähigkeitstagen (12m-AU) nach Abschnitt 2.3

12m-LS (Ergebnis)			12m-AU (Ergebnis)		
Variable	Odds-Ratio (Konfidenzintervall)	p-Wert	Variable	Odds-Ratio (Konfidenzintervall)	p-Wert
$A(8) \times 10$	1,69 (1,18-2,40)	0.004	$A(8) \times 10$	1,08 (0,71-1,62)	0,726
R_{DOF}	1,63 (1,05-2,55)	0.030	R_{DOF}	2,04 (1,15-3,61)	0,014
			Heben (ja/nein)	6,26 (2,16-18,11)	0,001
Test auf Wechselwirkung					
R_{DOF}^* $A(8) \times 10$	1,19 (0,76-1,85)	0.361	R_{DOF}^* $A(8) \times 10$	0.77 (0.47-1.25)	0,468
Variable			Variable		
R_{WBV-P}	1,37 (0,92-2,04)	0.121	R_{WBV-P}	2,34 (1,31-4,18)	0,004

4. Diskussion

Die im Abschnitt 3 vorgestellten Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen Belastung und Beanspruchung sind rein statistisch und stellen keine Begründung für einen kausalen Zusammenhang dar. Es ist aber wichtig gewesen zu zeigen, dass die verwendeten Methoden im Prinzip dazu geeignet sind, einen Zusammenhang mit Beschwerden zu beschreiben.

Dass in dieser Stichprobe im Gegensatz zu anderen Studien kein Zusammenhang mit dem Alter [23] oder Lebensdosismodellen [7], [24] festgestellt worden ist, kann auf die Kriterien für die Probandenrekrutierung zurückgeführt werden. Das vergleichsweise homogene Alter der Probanden hat Alterseffekte unterdrückt. Da die meiste Lebensbelastung in demselben Betrieb angefallen ist, hat der Tages-Dosiswert $A(8)$ die GKV-Belastung besser beschreiben können als Lebensdosismodelle. Diese Studie befindet sich insofern auch nicht im Widerspruch zu [23], da nur ein Proband eine Lebensdosis erreicht hat, die nach [23] mit einem hohen Risiko für Rückenbeschwerden verbunden ist, und alle Probanden zum Zeitpunkt der Untersuchung beschwerdefrei gewesen sind.

Dass keine Zusammenhänge zu weiteren Belastungsdaten gefunden worden sind, kann auch ein Effekt der kleinen Stichprobe und der Tatsache sein, dass andere Belastungsdaten nicht mit derselben Genauigkeit erhoben worden sind, wie die GKV- und Körperhaltungsbelastung. Es lässt sich aber festhalten, dass auch andere Studien keinen Zusammenhang mit psychosozialen Belastungen gesehen haben [7], während Lastenhandhabungen öfter als belastender Faktor für Rückenbeschwerden genannt werden [7] [3].

In dieser Studie ist für verschiedene Arbeitsplätze die Kombinationsbelastung aus GKV- und Körperhaltungen in Abschnitt 3.1 beschrieben worden. Aufgrund der unterschiedlichen Arbeitsbedingungen sind Unterschiede in beiden Belastungen klar zutage getreten. Die Beschreibung der Belastungen ist dabei das erste Ergebnis dieser Studie gewesen.

Ohne eine Bewertung der Messwerte kann man aber nicht beurteilen, ob ein Arbeitsplatz belastender oder weniger belastend ist, wenn sich zum Beispiel R_{DOF} bei repräsentativen Tätigkeiten erhöht oder erniedrigt. Deshalb ist es wichtig gewesen, im Abschnitt 3.2 nachzuweisen, dass mit den verwendeten Methoden im Prinzip ein auch statistisch signifikanter Zusammenhang mit Beschwerdedaten möglich ist. Ohne eine solche Bestätigung ist es nicht klar, ob sich die Kennwerte für eine Gefährdungsbeurteilung nutzen lassen.

In Abschnitt 3.2 wird aber ein Zusammenhang zwischen R_{DOF} und Beschwerdevariablen in univariaten und kombinierten Analysen nachgewiesen. Damit ist a-posteriori auch das zugrunde liegende, quasi-statische Bewertungsschema in Tabelle 2 gerechtfertigt, wobei nicht ausgeschlossen ist, dass das Berücksichtigen von dynamischen Anteilen noch bessere Ergebnisse liefert. Die Analyse dieser Studie zeigt aber, dass mit R_{DOF} und R_{WBV-P} relevante Teile der Belastung erfasst werden können, die für eine Gefährdung mit Blick auf die untersuchten Beschwerden eine Rolle spielen. Für die hier gewählte Stichprobe lassen sich die Belastungsarten linear kombinieren, sodass neben dem Index R_{WBV-P} auch andere Kennwerte [25] zu geeigneten Beschreibungen führen [15], die ebenfalls auf einer linearen Kombination dieser beiden Belastungen beruhen.

Damit ist es möglich die hier vorgestellten Methoden für die Gefährdungsbeurteilung zu nutzen. So lassen sich zum Beispiel präventive Maßnahmen dadurch bewerten, dass sie bei den Beschäftigten zu einer deutlichen Verringerung der hier benutzten Belastungswerte führen. Einschränkungen ergeben sich dabei im Hinblick auf Grenzwerte, die hier nicht abzuleiten sind, oder Beschwerden, die über subjektiv empfundene Schmerzen hinausgehen. Dies müssen zukünftige Studien klären, die aber auf die Ergebnisse dieser Studie aufbauen können.

Danksagung

Diese Studie ist durch die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (FP 306) gefördert worden. Die Autoren danken Mark Krichels, Christian Böser, Benno Göres, Detlef Sayn, Ingo Herrmanns, Rebekka Winkler für ihre Beiträge zu diesem Projekt.

- [1] Brennscheidt F, Nöllenheidt C, Siefer, *Arbeitswelt im Wandel: Zahlen - Daten - Fakten Zahlen - Daten – Fakten*, 1. Auflage, Dortmund, 2012.
- [2] Bernard B, *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors*, NIOSH Publication Number 97-141, 1997.
- [3] Lotters F, Burdorf A, Kuiper J, Miedema H, *Model for the work-relatedness of low-back pain*, Scand J Work Environ Health (2003) 29, 431-440.
- [4] Magnusson M, Pope MH, Okunribido OO, *Low back pain in drivers: The relative role of whole body vibration, posture and manual materials handling*, Health and Safety Executive Report 4397/R55.096/2004, University of Aberdeen, 2004.
Okunribido OO, Magnusson M, Pope MH, *Low back pain in drivers: The relative role of whole body vibration, posture and manual materials handling*, Journal of Sound and Vibration (2006) 298:540-555.
- [5] Hoy J, Mubarak N, Nelson S, Sweerts de Landas M, Magnusson M, Okunribido O, Pope M, *WBV and Posture as risk factors for low back pain among forklift truck drivers*, Journal of sound and Vibration (2005) 284:933-946.
- [6] Bovenzi M, *Metrics of whole-body vibration and Exposure-response relationship for low back pain in professional drivers: a prospective cohort study*, International Archives of Occupational and Environmental Health (2009) 82:893-917
- [7] Bovenzi M, Rui F, Negro C, D'Agostin F, Angotzi G, Bianchi S, Bramanti L, Festa G, Gatti S, Pinto I, Rondina L, Stacchini N, *An epidemiological study of low back pain in professional drivers*, Journal of Sound and Vibration (2006) 298:514-539.
- [8] Tiemessen I, Hulshof C, Frings-Dresen M, *Low back pain in drivers exposed to whole body vibration: analysis of a dose-response pattern*, Occup Environ Med (2008) 65:667-675.
- [9] Fritz M, Schäfer K, *Berücksichtigung der Haltung des Oberkörpers bei der Beurteilung von Ganzkörper-Schwingungen Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, Z Arb Wiss*, (2010) 64:293-304.
- [10] Morgan L, Mansfield N, *A survey of expert opinion on the effects of occupational exposures to trunk rotation and whole-body vibration*, Ergonomics (2014) 57:563-574.

- [11] Technische Regel zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung - TRLV Vibrationen, Ausgabe: März 2015, GMBI Nr. 25/26 vom 24. Juni 2015, S. 482.
- [12] ISO/TR 10687:2009, *Mechanical vibration - description and determination of seated postures with reference to whole-body vibration*, Beuth, Berlin.
- [13] Raffler N, Hermanns I, Sayn D, Gores B, Ellegast R, Rissler J, *Assessing combined exposures of whole-body vibration and awkward posture--further results from application of a simultaneous field measurement methodology*, *Industrial health* (2010) 48:638-644.
- [14] Hermanns I, Raffler N, Ellegast R, Fischer S, Göres B, *Simultaneous field measuring method of vibration and body posture for assessment of seated occupational driving tasks*, *Int J Ind Ergon* (2008) 38:255-263.
- [15] Raffler N, Rissler J, Ochsmann E, Schikowsky C, Kraus T, *Arbeitsmedizinische Pilotstudie "Kombinationsexpositionen von Ganzkörper-Vibrationen und Körperhaltungen"*, Abschlussbericht DGUV FP 306, *in Vorbereitung*.
- [16] Kuorinka I, Jonsson B, Kilbom A, Vinterberg H, Biering-Sorensen F, Andersson G, Jorgensen K, *Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms* *Applied Ergonomics*, (1987) 18:233 – 237.
- [17] ISO 8041:2005, *Human response to vibration - Measuring instrumentation*, Beuth, Berlin.
- [18] VDI 2057-1:2002, *Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen - Ganzkörper-Schwingungen*, Beuth, Berlin.
- [19] EU-Directive 2002/44/EC. *On the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration)*, Directive 2002/44/EC. Official journal of the European Community, 6th July 2002, L 117/13-19.
- [20] DIN EN 1005-4:2005, *Safety of machinery - Human physical performance - Part 4: Evaluation of working postures and movements in relation to machinery*, Beuth, Berlin.
- [21] ISO 11226:2000, *Ergonomics - Evaluation of static working postures*, Beuth, Berlin.
- [22] Rahmatalla S, Jonathan DeShaw, *Predictive discomfort of non-neutral head-neck postures in fore-aft whole-body vibration* *Ergonomics* (2011) 54(3):263-272.
- [23] Schwarze S, Notbohm G, Dupuis H, Hartung E, *Dose-response relationships between whole-body vibration and lumbal disk disease - A field study on 388 drivers of different vehicles*, *Journal of Sound and Vibration* (1998) 215(4): 613-628.

- [24] Bovenzi M, Schust M, Menzel G, Prodi A, Mauro M, *Relationships of low back outcomes to internal spinal load: a prospective cohort study of professional drivers*, International Archives of Occupational and Environmental Health (2015) 88(4): 487–499.
- [25] Schäfer K, Rokosch F, Schick R, Hermanns I, Ellegast R, *Gleichzeitige Messung von Ganzkörper-Schwingungen und Körperhaltungen*, Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie (2006) 329-342