

## **Gefährdungsbeurteilung der Kombinationsexpositionen von Ganzkörper-Vibrationen und ungünstigen Körperhaltungen bei Bus- und Vollportalkranfahrern**

### **Risk assessment for combined whole-body vibration and awkward posture between a bus driver and a full gantry crane operator**

**Dipl.-Ing. N. Raffler**, Dipl.-Ing. I. Hermanns, B. Göres, D. Sayn, Dr. R. Ellegast, Dr. J. Rissler  
Institut für Arbeitsschutz der DGUV, Sankt Augustin

#### **Kurzfassung**

Langjährige, hohe Vibrationsexpositionen im Sitzen können mit erhöhten Muskel-Skelett-Belastungen einhergehen und permanente Gesundheitsschäden im Bereich der Lendenwirbelsäule verursachen. Wie bereits im Merkblatt zur Berufskrankheit 2110 der Anlage zur Berufskrankheiten Verordnung erwähnt, können ungünstige Körperhaltungen als ein zusätzlicher Risikofaktor die Gesundheitsgefährdung durch Ganzkörper-Vibrationen verstärken.

Um die Wirkung dieser beiden Expositionen untersuchen zu können, sind geeignete Auswertungsverfahren zur Kombination der Expositionsdaten erforderlich. Dieser Beitrag stellt eine Messstrategie am Beispiel von Messungen bei einem Bus- und einem Vollportalkranfahrer vor, wie die Kombinationsexposition von Ganzkörper-Vibrationen und Körperhaltungen ausgewertet werden können.

Die Ergebnisse zeigen, dass die eingenommenen Körperhaltungen sehr unterschiedlich sind, während die Höhe der Vibrationsexposition gleich blieb. Diese Erkenntnisse bieten eine wertvolle Grundlage für weitere Untersuchungen der Beanspruchung von Kombinationsexpositionen.

#### **Abstract**

Long duration of whole-body vibration exposure while sitting could lead to musculoskeletal diseases and also cause permanent damages especially in lumbar spine. The German regulation concerning the occupational disease 2110 also mentions that awkward posture is

an additional risk factor, which can increase the adverse health effect of the whole-body vibration exposure.

In order to investigate the interactions of the combined exposures of whole-body vibration and awkward posture, assessment methods are needed. This article introduces measurements for combined exposures of whole-body vibration and awkward posture by a bus driver and a full gantry crane operator. The preliminary results indicate very different adopted postures between the two operators, while the vibration total values of both machines show similar vibration exposure. These findings provide a worthy introduction for further quantitative investigations of the combined exposures.

## 1. Einleitung

Muskel-Skelett Erkrankungen besonders im Bereich der Lendenwirbelsäule bilden den größten Teil (24.7 % im Jahr 2008) der Arbeitsunfähigkeitsfälle in Deutschland [1]. Ganzkörper-Vibrationen sind einer der Faktoren, die nach langjähriger Einwirkung bandscheibenbedingte Erkrankung der Lendenwirbelsäule verursacht [2]. Die Einwirkung der Vibrationsexposition kann durch zusätzliche Belastungsfaktoren wie Lärm, psychische Störungen und ungünstigen Körperhaltungen beeinflusst und erhöht werden [3]. Eine prospektive Kohortenstudie von Bovenzi zeigt eine sehr signifikante Risikoerhöhung (Chancenverhältnis als „Odds Ratio“ OR = 1,72) für Rückenbeschwerden, wenn während Ganzkörper-Vibrationen der Rücken öfter vorgeneigt oder verdreht ist. Das Merkblatt zur Berufskrankheit 2110 der Anlage zur Berufskrankheiten Verordnung [4] weist darauf hin, dass bei gleichzeitig auftretenden ungünstigen Körperhaltungen die Grenzwerte der Ganzkörper-Vibrationen reduziert werden sollen. Allerdings gibt es keine quantitativen Angaben, die den Einfluss der ungünstigen Körperhaltung beschreiben.

Das CUELA-Messsystem (Computer-Unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) bietet eine Möglichkeit, synchron zu Ganzkörper-Vibrationen die Körperhaltungen als Winkel analog zu erfassen [5,6]. Dieser Beitrag untersucht exemplarisch die Kombinationsexposition durch Ganzkörper-Vibrationen und ungünstige Körperhaltungen eines Busfahrers und eines Kranfahrers, indem Vibrationen synchron zu den Haltungen gemessen werden.

## 2. Methode

Für die Erfassung der Kombinationsexpositionen durch Ganzkörper-Vibrationen und ungünstigen Körperhaltungen ist ein Busfahrer (165 cm, 70 kg, 45 Jahre alt) und ein

Vollportalkranfahrer (169 cm, 72 kg, 46 Jahre alt) während ihren betriebsüblichen Tätigkeiten untersucht worden. Die Messungen repräsentieren eine tatsächliche Arbeitsschicht mit allen auftretenden Tätigkeiten.

## 2.1 Ganzkörper-Vibrationen

Vibrationsexpositionen werden wie im Bild 1 gezeigt mittels Beschleunigungsaufnehmern auf der Sitzfläche und am Sitzmontagepunkt in drei Richtungen (x, y, z) nach ISO 2631 [7], VDI 2057 [8] ermittelt. Der geeignete Kennwert, um die Vibrationsbelastung mit der Belastung durch Körperhaltungen zu kombinieren ist der Schwingungsgesamtwert:

$$a_{v1,4} = \sqrt{(1.4a_{wx})^2 + (1.4a_{wy})^2 + a_{wz}^2}$$

mit den Effektivwerten  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$ ,  $a_{wz}$  der frequenzbewerteten Beschleunigungen in x-, y- und z-Richtung.



Bild 1: Die Anbringung der Beschleunigungsaufnehmer für die Ganzkörper-Vibrationen  
Links: Vollportalkran, Rechts: Bus (SF: Sitzfläche, SM: Sitzmontagepunkt)

Für die Auswertung der Schwingungsgesamtwerte werden drei Kategorien für die Gesundheitsgefährdung vorgeschlagen. Die Kategorie „gering“ beinhaltet die Schwingungsgesamtwerte  $a_{v1,4} < 0,5 \text{ m/s}^2$ , die Kategorie „mittel“ die Werte von  $0,5 \text{ m/s}^2 \leq a_{v1,4} \leq 1,0 \text{ m/s}^2$  und Kategorie „hoch“ die Werte von  $a_{v1,4} > 1,0 \text{ m/s}^2$ .

## 2.2 Körperhaltungen

Die Körperhaltungen werden mit dem Messsystem CUELA des IFA (Institut für Arbeitsschutz der DGUV) gemessen, das aus Gyroskopen, Beschleunigungsaufnehmern und Potentiometern aufgebaut ist (Bild 2). Dieses batteriebetriebene System wird auf der

Kleidung des Fahrers angebracht und kann an mobilen Arbeitsplätzen synchron zu den Ganzkörper-Vibrationen die Körperhaltungen des Fahrers mit einer Abtastrate von 50 Hz erfassen. Aus den Sensordaten können mehrere Körperwinkel erfasst und berechnet werden (Bild 2).

	<b>Körperwinkel</b>
	Laterale und sagittale Kopf-Neigung
	Laterale und sagittale Hals-Krümmung Hals-Torsion
	Laterale und sagittale Rumpf-Neigung Laterale und sagittale Rücken-Krümmung Rücken-Torsion
	Hüft-Flexion/-Extension
	Knie-Flexion/-Extension

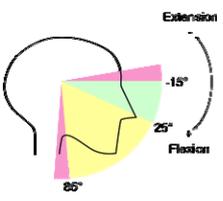
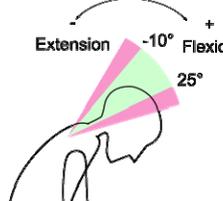
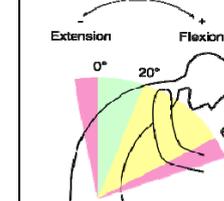
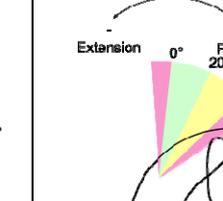
Bild 2: Das CUELA-Messsystem für die Körperhaltungen mit Angabe der Körperwinkel, die damit erfasst werden können (BWS: Brustwirbelsäule, LWS: Lendenwirbelsäule)

Für die Gegenüberstellung der Körperhaltungen von Bus- und Vollportalkranfahrer werden für diesen Bericht *in der sagittalen Ebene die Kopf-Neigung, die Hals-Krümmung, die Rumpf-Neigung und die Rücken-Krümmung* verglichen.

Während der Messung erfolgt eine Videoaufzeichnung, mit der der Zusammenhang zwischen gemessener Körperbewegung und ausgeführter Tätigkeit des Beschäftigten hergestellt werden kann.

Für die Auswertung der Körperwinkelwerte sind anlehnend an die Normen (ISO 11226 [9], DIN EN 1005-4 [10]) nach einem Ampelschema drei Kategorien, neutral, moderat und ungünstig definiert. Die Tabelle 1 zeigt die Einteilung der Winkelbereiche für die Körperregionen, die in diesem Bericht untersucht worden sind.

Tabelle 1: Neutrale, moderate und ungünstige Winkelbereiche für 4 sagittale Körperwinkel

	<b>Kopf-Neigung</b> (sagittal)	<b>Hals-Krümmung</b> (sagittal)	<b>Rumpf-Neigung</b> (sagittal)	<b>Rücken-Krümmung</b> (sagittal)
				
neutral	-15° bis 25°	-10° bis 25°	0° bis 20°	0° bis 20°
moderat	25° bis 85°	-----	20° bis 60°	20° bis 40°
ungünstig	< -15° od. > 85°	< 0° od. > 25°	< 0° od. > 60°	< 0° od. > 40°

### 2.3 Kombinationsexposition Ganzkörper-Vibrationen und Körperhaltungen

Die drei Kategorien jeder Exposition (Vibration: gering, mittel und hoch; Haltung: neutral, moderat und ungünstig) werden in einer Matrix zusammengestellt.

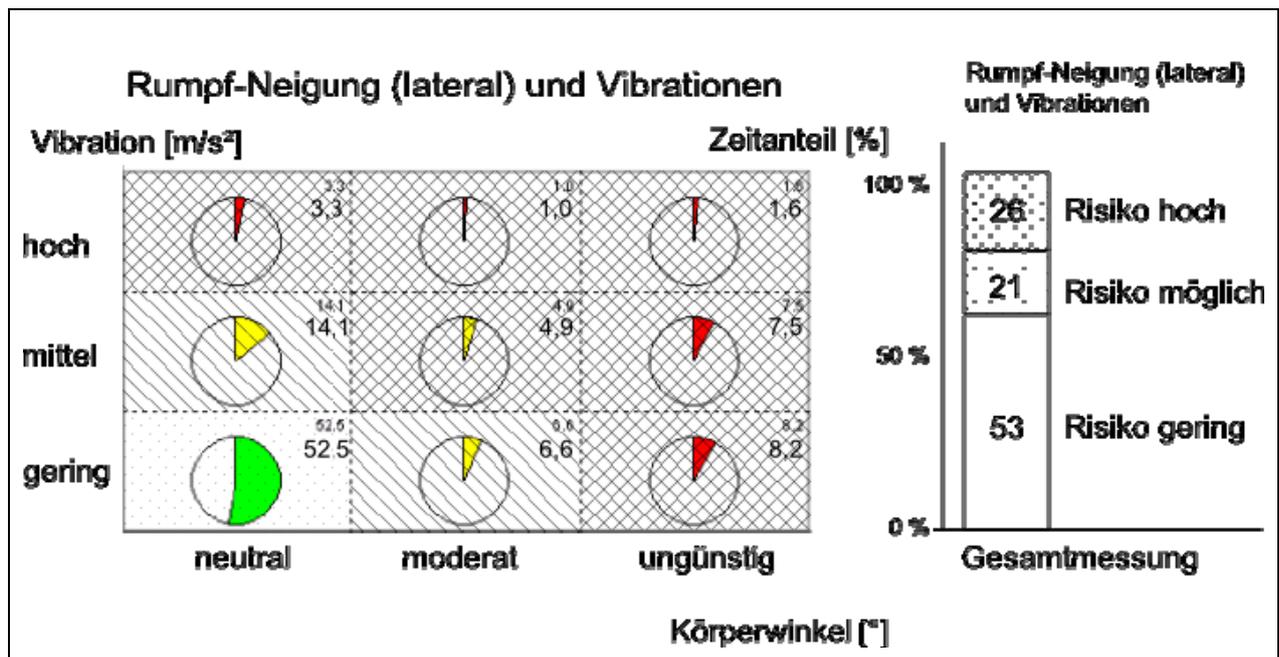


Bild 3: Die Matrixdarstellung der Expositionen durch Ganzkörper-Vibrationen und Körperhaltungen und die Einteilung der Risikokategorien in gering, möglich und hoch als Zeitanteile in %

Diese Darstellung (Bild 3), ordnet die Vibrationskategorien vertikal und die Körperhaltungskategorien horizontal an. Die Angabe in jedem Feld zeigt den prozentualen

Zeitanteil der Messung, indem die Messwerte in den entsprechenden Expositionskategorien liegen. Das mittlere Feld z.B. mit 4,9 % bedeutet, dass der Proband in dieser Messung während 4,9 % der Messzeit sowohl moderate Körperhaltungen einnimmt als auch mittleren Vibrationen ausgesetzt ist. Eine Zusammenfassung der Felder ergibt drei Risikogruppen (gering, möglich und hoch), welche farblich in der Abbildung links und rechts als Säulendiagramm zu erkennen sind. Somit kann die kombinierte Belastung für einen Körperwinkel und Ganzkörper-Vibrationen (hier Rumpf-Neigung lateral im Bild 3) bewertet werden.

### 3. Ergebnisse

#### 3. 1 Arbeitstätigkeiten und Ganzkörpervibrationen

In der Tabelle 2 sind die erfassten Tätigkeiten mit ihrer Dauer, den Effektivwerten der frequenzbewerteten Beschleunigung in drei Achsen und dem Gesamtschwingungswert dargestellt.

Tabelle 2: Aufteilung des Arbeitsvorgangs in Tätigkeiten und deren Zeitanteil sowie Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigungen  $a_{wx}$ ,  $a_{wy}$  und  $a_{wz}$  und der Schwingungsgesamtwert auf der Sitzfläche

<b>Fahrzeug und Tätigkeit</b>	<b>Dauer</b> [hh:mm:ss]	<b><math>a_{wx}</math></b> [m/s <sup>2</sup> ]	<b><math>a_{wy}</math></b> [m/s <sup>2</sup> ]	<b><math>a_{wz}</math></b> [m/s <sup>2</sup> ]	<b><math>a_{v1,4}</math></b> [m/s <sup>2</sup> ]
<b>Vollportalkran Gesamtmessung</b>	<b>01:45:45</b>	<b>0,12</b>	<b>0,25</b>	<b>0,24</b>	<b>0,46</b>
Schiff entladen: Kohle auf Lagerplatz	01:20:53	0,12	0,25	0,24	0,46
Schiff entladen: Kohle in Bunker	00:09:30	0,13	0,28	0,25	0,50
Schiff putzen	00:07:58	0,12	0,27	0,24	0,48
Sonstiges	00:07:22	0,11	0,15	0,21	0,33
<b>Bus Gesamtmessung</b>					
<b>Bus Gesamtmessung</b>	<b>01:10:20</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,33</b>	<b>0,45</b>
Leerfahrt	01:02:41	0,15	0,15	0,35	0,46
Fahrscheine verkaufen	00:06:27	0,15	0,13	0,08	0,29
Durchsage machen	00:00:28	0,20	0,10	0,13	0,34

Die Schwingungsgesamtwerte zeigen eine ähnliche Expositionshöhe für den Bus und den Vollportalkran auf der Sitzfläche (0,46 m/s<sup>2</sup> und 0,45 m/s<sup>2</sup>) und liegen beide in der Kategorie „gering“.

### 3. 2 Körperhaltungen

Da die untersuchten Fahrer im lateralen Bereich ähnliche neutrale Haltungen eingenommen haben, beziehen sich die Angaben der Körperhaltungen in diesem Bericht auf die sagittalen Körperwinkel. Das Bild 4 stellt die Zeitanteile der sagittal eingenommenen Haltungen beider Fahrer für die Gesamtmessungen als Perzentile dar. Die Einteilung der Perzentile ist von unten nach oben wie folgt: 5., 25., 50. 75. und 95. Perzentil. Vergleicht man die Körperwinkel-Perzentile des Vollportalkranfahrers mit dem des Busfahrers, erkennt man die deutlichen Unterschiede für die Kopf-Neigung, Hals-Krümmung und Rücken-Krümmung.

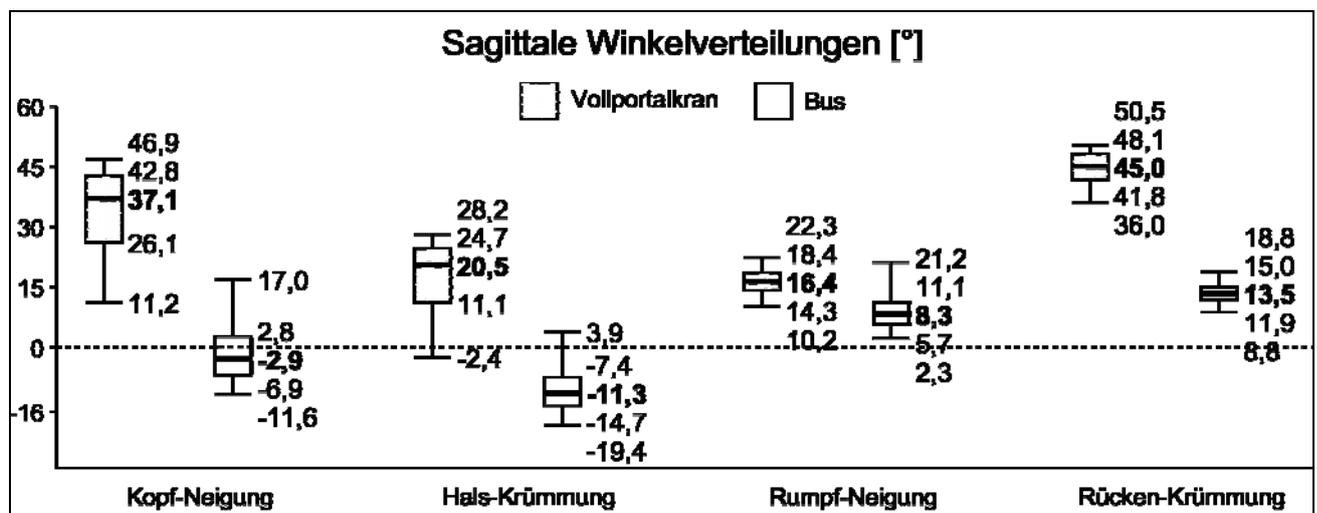


Bild 4: Die sagittal eingenommenen Körperwinkel eines Vollportalkranfahrers und eines Busfahrers. Die Einteilung der Perzentile ist von unten nach oben wie folgt: 5., 25., 50., 75. und 95.

Die enge Verteilungen weisen auf eine hohe Statik bei den beiden Fahrern hin, besonders für die Rumpf-Neigung und die Rücken-Krümmung.

Die Auswertung der sagittalen Körperwinkel nach den Kategorien neutral, moderat und ungünstig (Tabelle 1) sind im Bild 5 als Zeitanteile der Gesamtmessung in % dargestellt. Besonders auffällig sind hierbei die Zeitanteile der moderaten Kopf-Neigung und der ungünstigen Rücken-Krümmung des Vollportalkranfahrers.

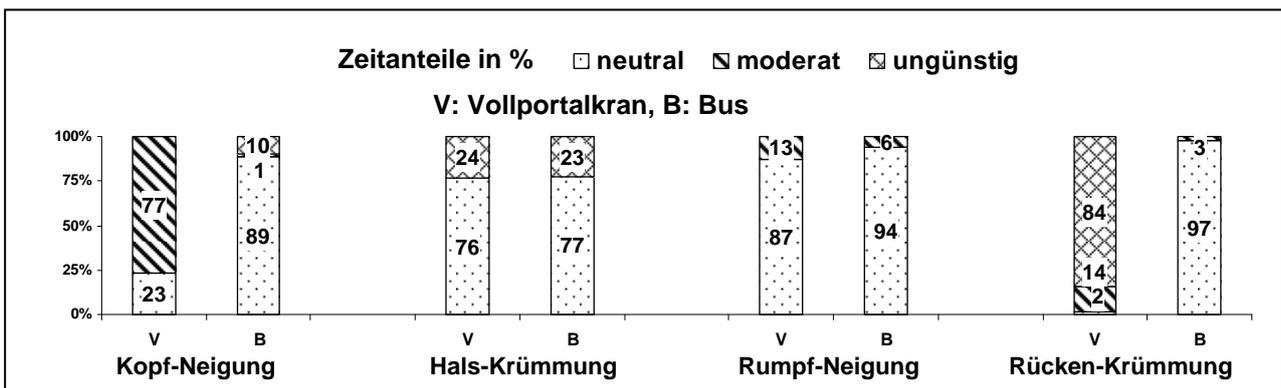


Bild 5: Die Zeitanteile der gemessenen Körperwinkelkategorien in %

Das Bild 6 zeigt die typisch eingenommene Fahrhaltung eines Vollportalkran- und eines Busfahrers. Während die gerade Linien die Rumpf-Neigung darstellen, verdeutlichen die Bögen die Krümmung des Rückens. Hierbei wird ersichtlich, dass der Kranfahrer deutlich mehr nach vorne gekrümmt sitzt, da er nach unten schauen muss.



Bild 6: Die typisch eingenommene Haltung eines Busfahrers (rechts) und eines Vollportalkranfahrers (links)

### 3. 1 Kombinationsexpositionen Ganzkörper-Vibrationen und ungünstige Körperhaltung

Das Bild 7 zeigt die Zeitanteile der Kombinationsexpositionen nach den Risikokategorien gering, möglich und hoch (Abschnitt 2.3).

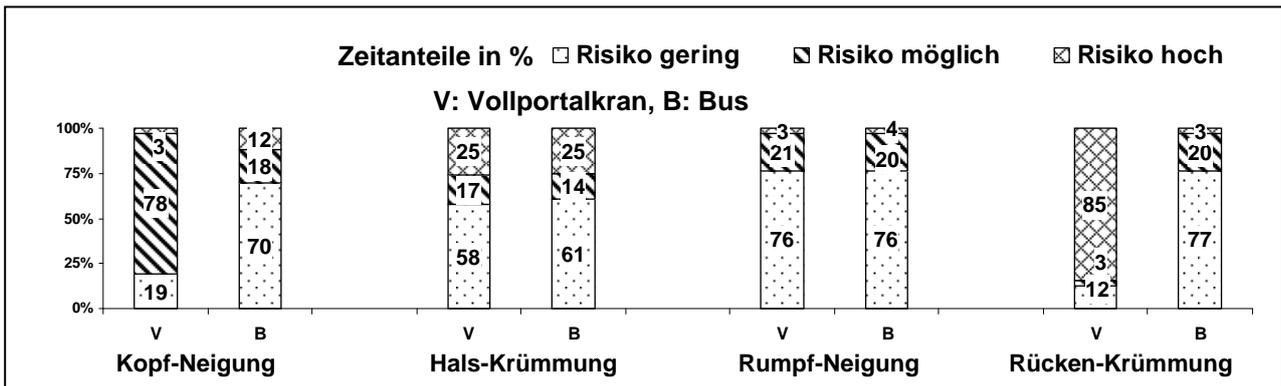


Bild 7: Die Zeitanteile der gemessenen Risikokategorien für die Kombinationsexpositionen durch Ganzkörper-Vibrationen und ungünstigen Körperhaltungen in %

Da die Vibrationsexpositionen bei den beiden Fahrzeugen ähnlich und klein ausfallen, sind die Kombinationsexpositionen hauptsächlich durch die Körperhaltungen beeinflusst worden. Deshalb sind auch hier die großen Unterschiede bei der Kopf-Neigung und der Rücken-Krümmung zu erkennen.

#### 4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Untersuchung von Expositionsbelastungen der Fahrzeugfahrer ist in diesem Bericht für zwei Fahrzeuge einzeln durchgeführt worden. Da nur je ein Fahrer untersucht wurde lässt dies keine allgemeine Schlussfolgerung bezüglich der Expositionsdaten zu. Weitere Untersuchungen sind deshalb erforderlich, damit berufsspezifische Expositionsdaten ermittelt werden können. Eine neue Studie von Bovenzi [3] zeigt ähnliche Schwingungsgesamtwerte für die untersuchte Fahrzeuge;  $0,32 \text{ m/s}^2$  für die Krane und  $0,34 \text{ m/s}^2$  für die Busse. Die Untersuchungen der Körperhaltungen bei den Kranführern von van Riel et al. [11] zeigen, dass die Führer über 80% der Arbeitszeit eine Kopf-Neigung von über  $30^\circ$  eingenommen haben und im Vergleich zu den Fahrern von Portalhubwagen und den Büroarbeitern sehr statischen Haltungen eingenommen haben. Diese Ergebnisse stimmen mit hier ermittelten Körperhaltungsdaten gut überein, die ebenfalls eine ungünstige statische Haltung des Kopfes ergeben haben. Um die Wirkung dieser ungünstigen Haltungen zu überprüfen, sind allerdings epidemiologischen Untersuchungen erforderlich. Dieser Bericht bietet dafür den ersten Schritt, die Expositionen gegenüberzustellen und die Auswahl eines Kollektivs zu überprüfen. Während die Höhe der Ganzkörper-Vibrationsexposition bei den beiden Fahrzeugtypen sehr ähnlich ausfiel, liegen beim Kranfahrer deutlich höhere Belastungen durch Körperhaltungen im Vergleich zum Busfahrer vor. Um den zusätzlichen Effekt der ungünstigen Körperhaltungen zu untersuchen, können

diese Fahrzeugtypen eine gute Auswahl für die Fall- und Kontrollgruppe in einer epidemiologischen Studie anbieten.

### **Danksagung**

Wir bedanken uns bei der Berufsgenossenschaft Energie, Textil Elektro und der Berufsgenossenschaft der Straßen-, U-Bahnen und Eisenbahnen für die Ermöglichung dieser Arbeit. Ausdrücklich möchten wir uns auch für die Unterstützung und Freigabe der Daten bei der EVO AG Offenbach und den Stadtwerken Augsburg bedanken.

### **5. Literaturangaben**

- [1] Brenscheidt, F.; Lüther, S.; Siefer, A.: Arbeitswelt im Wandel: Zahlen - Daten – Fakten. Dortmund: 2008
- [2] Schwarze, S., Nothbohm, G., Hartung, E., Dupuis, H.: Auswirkungen von Ganzkörperschwingungen auf die Lendenwirbelsäule. Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed, 33, 1998, 429-442
- [3] Bovenzi, M.: Metrics of whole-body vibration and exposure-response relationship for low back pain in professional drivers: a prospective cohort study. Int Arch Occup Environ Health, 82, 2009, 893-917
- [4] BKV Merkblatt zu der Berufskrankheit Nr. 2110 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung: Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule, Bundesarbeitsblatt 7-2005, S. 43 – 48
- [5] 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. International Journal of Industrial Ergonomics, 38, 2008, 255-263
- [6] Schäfer, K., Rokosch, F., Schick, R., Hermanns, I., Ellegast, R.: Gleichzeitige Messungen von Ganzkörper-Vibrationen und Körperhaltungen. Zentralblatt für Arbeitsmed., Arbeitsschutz u. Ergon, 11, 2006, 329-42
- [7] ISO 2631 1:1997: Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole body vibration - Part 1: General requirements. International Organization for Standardization, Genf
- [8] VDI 2057 Blatt 1, 2002. Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen – Ganzkörper-Schwingungen

- [9] ISO 11226 Ergonomics – Evaluation of static working postures, 2000
- [10] DIN EN 1005-4 Safety of machinery – Human physical performance – Part 4: Evaluation of working postures and movements in relation to machinery, 2005
- [11] van Riel, M.P.J.M., Derksen, J.C.M., Burdorf, A., Snijders, C.J.: Simultaneous measurements of posture and movements of head and trunk by continuous three-dimensional registration. *Ergonomics*, 38, 12, 1995, 2563-2575