

Ungünstige Arbeitsbedingungen eines Kehrfahrzeugführers durch Kombinationsbelastungen von Ganzkörper-Vibrationen und Körperhaltungen

Unfavourable work conditions for a street sweeper driver concerning posture and whole-body vibration

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

Kurzfassung

Nach dem Merkblatt zur Berufskrankheit 2110 der Anlage zur Berufskrankheiten Verordnung BKV 2005 [1] sollten bei der Bewertung der Vibrationsbelastung die ungünstigen Körperhaltungen, die dabei parallel auftreten als zusätzlicher Risikofaktor berücksichtigt werden. Im Rahmen einer Betriebsmessung eines kleinen Kehrfahrzeugs wurden die Kombinationsbelastungen bezüglich Ganzkörper-Vibrationen und Körperhaltungen gemessen und untersucht. Dieser Vortrag stellt die Messergebnisse beider Expositionen vor.

Während die Vibrationsbelastungen bei der Haupttätigkeit „Kehren“ sehr hoch sind, wurden noch höhere Vibrationswerte bei den An- und Abfahrten zum Kehrgebiet „Fahren vorwärts“ gemessen. Bei der Auswertung der Körperhaltung wurden besonders ungünstige Zwangshaltungen in der sagittalen (nach vorne) Ebene beobachtet. Diese sind größtenteils durch die beengte Fahrzeugkabine bedingt. Hierbei sind Hals- und Rücken-Krümmung sowie Rumpf-Neigung sehr betroffen. Diese ungünstigen Arbeitsbedingungen könnten nach langjähriger Einwirkung Beschwerden im Bereich des Rückens (Hals- und Lendenwirbelsäule) hervorrufen.

Abstract

According to the German regulation concerning the occupational disease 2110 [1], awkward posture needs to be considered while assessing whole-body vibration exposure. In this article combined exposures of whole-body vibration and awkward posture of a driver of a small street sweeper have been investigated and the results for each exposure measurement will be introduced. While high vibration exposure has been measured for the main activity “sweeping”, even higher values have been observed for the driving activity

without sweeping (driving forwards). Regarding the posture analysis, most awkward body angles have been measured in the sagittal area. Due to the small size of the vehicle cabin especially cervical and lumbal back flexion and also trunk inclination are highly exposed. Long duration of these unfavourable combined exposures can lead to musculoskeletal diseases and also cause permanent damages especially in cervical and lumbar spine.

1. Einleitung

Die physikalischen Einwirkungen der Vibrationsbelastungen eines Fahrers werden durch andere Belastungsfaktoren wie Lärm, Lastenhandhabung und ungünstige Körperhaltungen in einer Arbeitsschicht verstärkt. In der Kohorte-Studie von Bovenzi [2] wurden Lastenhandhabung und ungünstige Körperhaltungen als ein signifikanter Einflussfaktor für die Rückenschmerzen bei den Untersuchungen verschiedener Fahrzeugfahrer festgestellt. Die auftretenden Kräfte in den Bewegungssegmenten der Lendenwirbelsäule bei ungünstiger Körperhaltung wurden bei Fritz und Schäfer [3] mit Hilfe eines biomechanischen Modells simuliert und mit den Kräften bei aufrechter Sitzhaltung verglichen. Dabei wurde festgestellt, dass bei nach Vorne oder zur Seite geneigtem Rumpf die zeitlichen Mittelwerte der Wirbelsäulenkräfte erhöht worden sind.

Die eingenommene Körperhaltung eines Maschinenführers hängt von verschiedenen Faktoren wie der individuellen Konstitution des Fahrers, aber auch von den auszuübenden Tätigkeiten sowie von den räumlichen Einschränkungen des Fahrzeugs ab. Um das letztere zu vermeiden, beschreibt die EN ISO 3411 [4] den Mindest-Freiraum (die Innenmaße der Eingrenzungen) für den Maschinenführer in einer Erdbaumaschine. Diese Maße können ansatzweise auch für andere Fahrzeuge mit ähnlichen Tätigkeiten übernommen werden. Ungünstige Körperhaltungen synchron auftretend zu hohen Vibrationen können bei lang anhaltenden Tätigkeiten zu Muskel-Skelett Beschwerden im Bereich der Hals- und Lendenwirbelsäule führen. Deshalb bieten Untersuchungen der gleichzeitig auftretenden Expositionen hilfreiche Präventionsansätze zur Reduzierung der Gesundheitsrisiken.

Bei Kehrfahrzeugführern können diese gleichzeitig auftretenden ungünstigen Arbeitsbedingungen von Ganzkörper-Vibrationen und Körperhaltungen in der Fahrzeugkabine besonders gut dargestellt werden.

2. Methode

Für die Betriebsmessung der Kombinationsexpositionen durch Ganzkörper-Vibrationen und ungünstige Körperhaltungen wurde der Fahrer (47 Jahre alt, 184 cm, 105 kg) eines kleinen

Kehrfahrzeuges (Baujahr 2008, 62 kW) während seiner betriebsüblichen Tätigkeiten untersucht.

Das Bild1 zeigt die Mindest-Freiraummaße für den Maschinenführer nach EN ISO 3411 [4]. In diesem Beitrag werden die Angaben R1 (Abstand zwischen dem Sitzindexpunkt und der oberen Bedeckung), R3 (Abstand nach hinten), I1 (Bereite des Freiraums für die Beine), L1 (Freiraum für Unterarm/Hand innerhalb der oberen Seiten der Eingrenzung) und L2 (Freiraum zwischen der Eingrenzung und dem Schuh des Maschinenführers) durch Beobachtung analysiert.

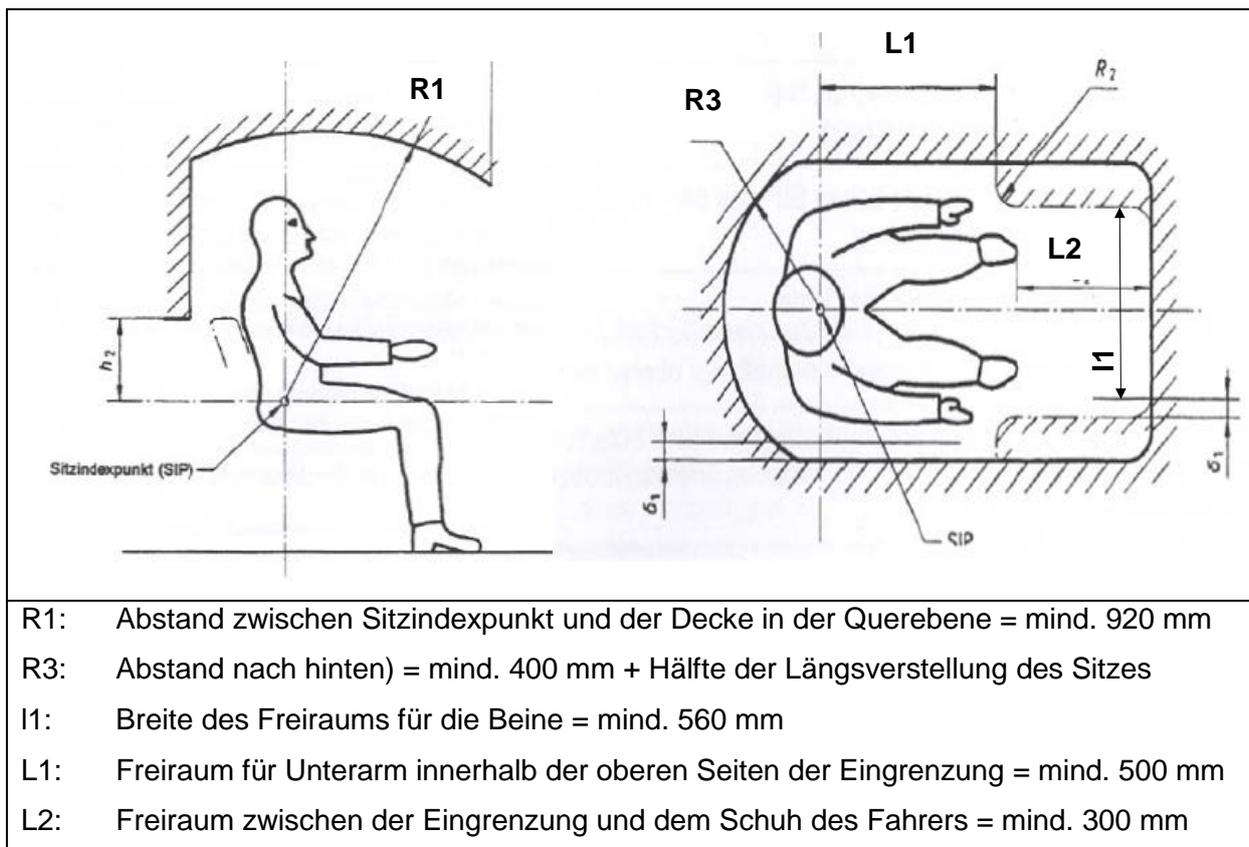


Bild 1: Die Mindest-Freiraummaße nach EN ISO 3411 für einen Maschinenführer

2.1 Körperhaltungen

Die eingenommenen Körperwinkel des Fahrers werden mit dem Messsystem CUELA (Computer-Unterstützte Erfassung und Langzeit-Analyse von Belastungen des Muskel-Skelett-Systems) gemessen, das aus Gyroskopen, Beschleunigungsaufnehmern und Potentiometern besteht (Bild 2). Das Messsystem wird auf der Kleidung des Fahrers angebracht und die Daten werden durch einen batteriebetriebenen Logger mit einer Abtastrate von 50 Hz auf eine Speicherkarte aufgenommen. Bild 1 zeigt die Körperregionen

für die Anbringung der Sensoren und die daraus resultierenden Körperwinkel, die aus den Sensordaten berechnet werden.

	Gelenk/ Körperregion	Körperwinkel
	<ul style="list-style-type: none"> - Kopf - Brust-wirbelsäule (BWS) - Lenden-wirbelsäule (LWS) - Oberschenkel - Unterschenkel 	<ul style="list-style-type: none"> - Kopf-Neigung - Hals-Krümmung - Hals-Torsion - Rumpf-Neigung - Rücken-Krümmung - Rücken-Torsion - Hüft-Flexion/-Extension - Knie-Flexion/-Extension

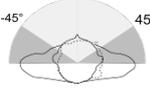
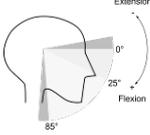
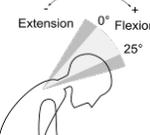
Bild 2: Das CUELA-Messsystem für die Körperhaltungen mit Angabe der Körperwinkel, die damit erfasst werden können

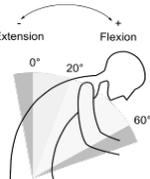
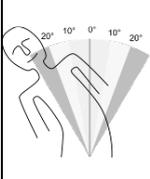
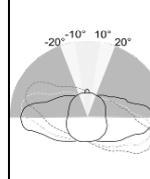
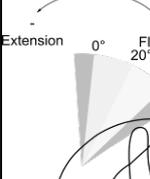
Die ausgeübten Tätigkeiten des Beschäftigten werden durch eine Videoaufzeichnung während der Messung dokumentiert.

Für die Darstellung, Analyse, beschreibende Statistik und Bewertungen der gemessenen Daten wird die vom IFA entwickelte Software WIDAAN verwendet [5].

Basiert auf die Normen (ISO 11226 [6], DIN EN 1005-4 [7]) sind nach einem Ampelschema drei Kategorien, neutral, moderat und ungünstig für die Auswertung der Körperwinkelwerte definiert. Die Tabelle 1 zeigt die Einteilung der Winkelbereiche für die Körperregionen, die in diesem Beitrag untersucht worden sind.

Tabelle 1: Neutrale, mittelgradige und endgradige Winkelbereiche für Körperwinkel

Kopf/Hals				
	Hals-Torsion (lateral)	Kopf-Neigung (sagittal)	Hals-Krümmung (sagittal)	Hals-Krümmung (lateral)
				
neutral	0° bis 45°	0° bis 25° <0° angelehnt	0° bis 25°	0° bis 10°
mittelgradig	----	25° bis 85°	----	----
endgradig	< -45° oder > 45°	< 0° oder > 85°	< 0° oder > 25°	< -10° oder > 10°

Rücken					
	Rumpf-Neigung (sagittal)	Rumpf-Neigung (lateral)	Rücken-Torsion	Rücken- Krümmung (sagittal)	Rücken- Krümmung (lateral)
					
neutral	0° bis 20° <0° angelehnt	0° bis 10°	-10° bis 10°	0° bis 20° <0° angelehnt	0° bis 10°
mittelgradig	20° bis 60°	10° bis 20°		20° bis 40°	10° bis 20°
endgradig	< 0° oder > 60°	<-20 oder > 20°	<-10 oder > 10°	< 0° oder > 40°	<-20 oder > 20°

2.2 Ganzkörper-Vibrationen

Vibrationsexpositionen werden wie im Bild 3 gezeigt mittels Beschleunigungsaufnehmern auf der Sitzfläche und am Sitzmontagepunkt in drei Richtungen (x, y, z) nach ISO 2631 [8], VDI 2057 [9] ermittelt. Untersucht werden die Effektivwerte a_{wx} , a_{wy} , a_{wz} ; frequenzbewerteten Beschleunigungen in x-, y- und z-Richtung und der Schwingungsgesamtwert (Vektorbetrag):

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

Zusätzlich ist der Sitzübertragungsfaktor ($SEAT_z$)

für die Vertikalrichtung angegeben, der das Verhältnis der aufgetretenen Vibrationen auf der Sitzfläche zu Vibrationen am Sitzmontagepunkt berechnet.



Bild 3: Die Anbringung der Beschleunigungsaufnehmer für die Ganzkörper-Vibrationen

3. Ergebnisse

Die beobachteten Mindest-Freiräume des Kehrfahrzeugs sind im Bild 4 gekennzeichnet.



Bild 4: Mindest-Freiraummaße für den Kehrfahrzeugführer

Der Mindest-Freiraummaß für $R1 = 680$ mm, $R3 = 320$ mm, $L1 = 400$ mm, $L2 = 80$ mm und $I1 = 540$ mm.

3. 1 Arbeitstätigkeiten und Ganzkörpervibrationen

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

Tabelle 2: Aufteilung des Arbeitsvorgangs in Tätigkeiten und deren Zeitanteil, energieäquivalente Mittelwerte der frequenzbewerteten Beschleunigungen a_{wx} , a_{wy} und a_{wz} , Schwingungsgesamtwerte (Vektorbetrag) auf der Sitzfläche und Sitzübertragungsfaktor in der Vertikalrichtung z (SEAT_z)

Tätigkeit	Einwirkungs- Dauer [hh:mm:ss]	Anteil der Tätigkeit	Sitzfläche				SEAT _z
			a_{wx} [m/s ²]	a_{wy} [m/s ²]	a_{wz} [m/s ²]	$a_{v1,4}$ [m/s ²]	$\frac{a_{wz}(\text{Sitzfläche})}{a_{wz}(\text{Sitzmontage})}$
(Alle Tätigkeiten)	00:44:48	100%	0,29	0,37	0,49	0,82	1,1
Kehren	00:30:25	68	0,30	0,39	0,46	0,83	1,1
Fahren vorwärts	00:09:53	22	0,28	0,36	0,64	0,92	1,1
Halten	00:04:30	10	0,12	0,06	0,06	0,20	0,9

Drei Haupttätigkeiten „Kehren“ mit 68% der Messdauer, An- und Abfahrten zum Kehrgebiet „Fahren vorwärts“ 22% der Messdauer und „Halten“ mit 10% der Messdauer, wurden bei dieser Beispielmessung eines Kehrfahrzeugführers beobachtet. Die Effektivwerte der frequenzbewerteten Beschleunigungen bei den Tätigkeiten bewegen sich zwischen 0,06 m/s² für a_{wy} und a_{wz} bei der Tätigkeit „Halten“ und 0,64 m/s² für a_{wz} bei der Tätigkeit „Fahren vorwärts“. Der höchste Schwingungsgesamtwert (Vektorbetrag) lag bei 0,92 m/s² bei der Tätigkeit „Fahren vorwärts“. Die Sitzübertragungsfaktoren zeigen überwiegend Werte größer eins, lediglich bei der Tätigkeit „Halten“ wurde ein Übertragungsfaktor von 0,9 ermittelt.

3. 2 Körperhaltungen

In der Tabelle 3 sind die Messergebnisse für die Gesamtmessung und für die beobachteten Tätigkeiten als Überblick zusammengestellt.

Die Maximalwerte der Gesamtauswertung im nicht-neutralen Bereich liegen für die sagittale Hals-Krümmung bei 86% (endgradig), für die sagittale Rücken-Krümmung bei 78% endgradig und 22% mittelgradig und für die sagittale Rumpf-Neigung bei 84% mittelgradig.

Tabelle 3: Körperhaltungsauswertung durch Zeitanteile der eingenommenen Körperwinkeln in drei Kategorien; neutral, mittelgradig und endgradig

	Anteil der eingenommenen Winkeln in drei Winkelbereiche [%]	Kopf-Neigung sagittal	Hals-Krümmung lateral	Hals-Krümmung sagittal	Hals-Torsion lateral	Rücken-Krümmung lateral	Rücken-Krümmung sagittal	Rücken-Torsion lateral	Rumpf-Neigung sagittal	Rumpf-Seitneigung lateral
Gesamt	neutral	96	93	14	96	94	0	95	16	98
	mittelgradig	4				6	22	5	84	2
	endgradig	0	7	86	4	0	78	0	0	0
Kehren	neutral	96	94	3	97	94	0	97	3	99
	mittelgradig	4				6	8	3	97	1
	endgradig	0	6	97	3	0	92	0		0
Fahren vorwärts	neutral	95	92	38	98	96		91	38	97
	mittelgradig	5				4	49	9	62	3
	endgradig	0	8	62	2	0	51	0	0	0
Halten	neutral	99	91	36	83	94		87	53	97
	mittelgradig	1				6	61	13	47	3
	endgradig	0	9	64	17		39		0	0

Im Bild 5 sind die auffälligen sagittalen Körperwinkelauswertungen für jede beobachtete Tätigkeit detailliert als Balkendiagramm dargestellt.

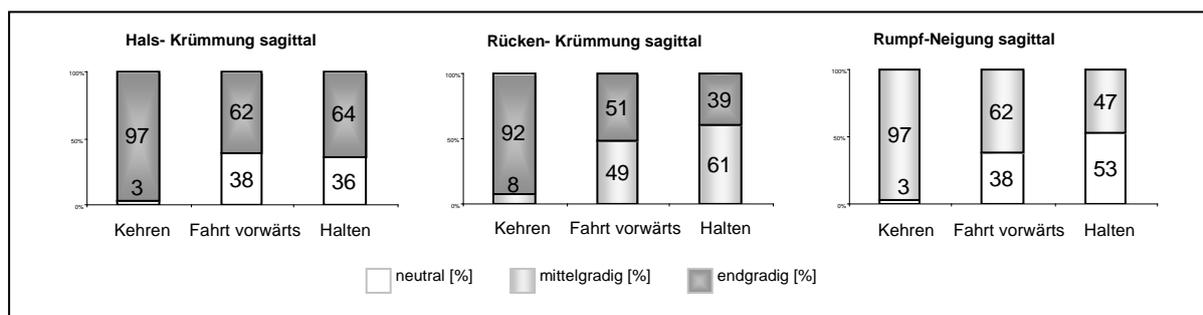


Bild 5: Die Zeitanteile der gemessenen Körperwinkel [%] in drei Kategorien neutral, mittelgradig und endgradig

Die Maximalwerte im nicht-neutralen Bereich wurden bei der Tätigkeit „Kehren“ am häufigsten beobachtet; 97% endgradig für Hals-Krümmung, 92% endgradig für Rücken-Krümmung und 97% mittelgradig für Rumpf-Neigung. Die Minimalwerte lagen bei 64% endgradig für die Hals-Krümmung, 39% endgradig für die Rücken-Krümmung und 47% mittelgradig für die Rumpf-Neigung bei Tätigkeit „Halten“. Im Bild 6 ist die typische

Körperhaltung des Kehrfahrzeugführers bei der Tätigkeit „Kehren“ dargestellt.



Bild 6: Eine typische Körperhaltung des Kehrfahrzeugführers während des Kehrens, die gekennzeichneten Winkel stellen die nicht-neutrale Körperwinkel dar.

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen der Freiräume im Kehrfahrzeug zeigen, dass die erforderlichen Mindestmaße für den Fahrer nicht eingehalten werden konnten. Besonders auffällig ist der Mangel des Abstandes zwischen dem Kopf und dem Dach des Fahrzeugs. Dies zwingt den Fahrer seinen Kopf nach vorne zu schieben, welches eine ungünstige Hals- und Rückenkrümmung verursacht (Bild 4).

Bei der Untersuchung der Tätigkeiten in dieser Betriebsmessung ist der relativ hohe Anteil der Tätigkeit „Fahren vorwärts“ zu den gesamten Tätigkeiten aufgefallen. Diese zeigt auch Maximalwerte für die Vibrationsbelastungen (Schwingungsgesamtwert $0,92 \text{ m/s}^2$). Die Sitzübertragungsfaktoren ($SEAT=1,1$) zeigen dass die Vibrationsbelastungen um 10% vom Sitz des Fahrzeuges verstärkt worden sind. Diese Verstärkung kann, wie im IFA Bericht 12/2011[10] beschrieben, durch die beengte Fahrzeugkabine und daraus resultierende Fehleinstellung des Sitzes bedingt sein.

Die Körperhaltungsanalyse der gesamten Tätigkeiten zeigt, dass die nicht-neutrale Körperhaltungen des Fahrers überwiegend in der sagittalen Ebene beobachtet worden sind. Bedingt durch die Tätigkeit „Kehren“, muss der Fahrer nach vorne unten auf die Straße und

auf den Kehrbesen schauen. Dies erklärt die höchsten Körperhaltungsbelastungen, die in dieser Tätigkeit erfasst worden sind. Allerdings sind auch bei der Tätigkeit „Fahren vorwärts“ und „Halten“ hohe nicht-neutrale Anteile zu sehen, die größtenteils durch die Zwangshaltungen des Fahrers in der beengten Kabine verursacht sind (Bild 6). Die geringe Spannweite der Winkeldaten weisen zusätzlich auf hohe Statik der Körperhaltung hin. Diese kann die Einwirkungen der eingenommenen nicht-neutralen Körperwinkel verstärken. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die hohen Belastungen durch Ganzkörper-Vibrationen eines kleinen Kehrfahrzeugs von Belastungen durch Körperhaltungen des Fahrers begleitet werden, da diese größtenteils durch die Konstruktion der Fahrzeugkabine verursacht werden. Bei lang anhaltenden Tätigkeiten können diese Kombinationsbelastungen zu Muskel-Skelett Beschwerden und zu gesundheitlichen Schäden der Wirbelsäule führen. Deshalb sollte bei der Entwicklung von Präventionsmaßnahmen für Kehrfahrzeuge und andere kleine Fahrzeuge die Einhaltung der Mindest-Freiräume bei der Konstruktion berücksichtigt werden.

5. Literaturangaben

- [1] BKV Merkblatt zu der Berufskrankheit Nr. 2110 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung: Bandscheibenbedingte Erkrankungen der Lendenwirbelsäule, Bundesarbeitsblatt 7-2005, S. 43 – 48.
- [2] Bovenzi, M.: A longitudinal study of low back pain and daily vibration exposure in professional drivers. *Industrial Health*, 48, 2010, 584-595
- [3] Fritz, M., Schäfer, K. – Berücksichtigung der Haltung des Oberkörpers bei der Beurteilung von Ganzkörper-Schwingungen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 64, 2010, 293-304
- [4] EN ISO 3411 Erdbaumaschinen Maschinenführer – Körpermaße Mindest-Freiraum, 1999
- [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] ISO 11226 Ergonomics – Evaluation of static working postures, 2000
- [7] DIN EN 1005-4 Safety of machinery – Human physical performance – Part 4: Evaluation of working postures and movements in relation to machinery, 2005

- [8] 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
- [9] VDI 2057 Blatt 1, 2002. Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen – Ganzkörper-Schwingungen
- [10] Rissler, J.: Ganzkörper-Vibrationen beim Fahren von Kleinkehrmaschinen. Aus der Arbeit des IFA, 12, 2011, Ausgabe 0331