

Zentralblatt

für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie



Ganzkörper-Schwingungen und Körperhaltungen

Der *Work Ability* Index als Unterstützungsinstrument

Heft **11**
Band **56**
2006

Großhandels- und Lagerei-Berufsgenossenschaft, Mannheim¹
 Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz, Sankt Augustin²

Gleichzeitige Messung von Ganzkörper-Schwingungen und Körperhaltungen

Klaus Schäfer¹, Frank Rokosch¹, Ralf Schick¹, Ingo Hermanns², Rolf Ellegast²

K. Schäfer, F. Rokosch, R. Schick, I. Hermanns, R. Ellegast: Gleichzeitige Messung von Ganzkörper-Schwingungen und Körperhaltungen. *Zbl Arbeitsmed* 56 (2006) 329 - 342

Schlüsselwörter: Ganzkörper-Schwingungen – Körperhaltungen – Schwingungs-Körperhaltungs-Muster – körperhaltungs-bewerteter Schwingungsgesamtwert

Zusammenfassung: Mit Hilfe eines Körperhaltungs- und eines Schwingungsmesssystems wurden während des betriebsüblichen Einsatzes Messungen bei Fahrern dreier unterschiedlicher Fahrzeuge, einem Portalkran, einem Portalstapler und einem Gabelstapler, durchgeführt. Gemessen wurden die Vor- und Seitneigung des Kopfes und des Oberkörpers sowie Beugung und Streckung des Hüftgelenkes und der Knie mit einer Abtastrate von 50 Hz. Die auf die Fahrer einwirkenden Ganzkörper-Schwingungen wurden auf dem Sitz zwischen Sitzfläche und Gesäß der Fahrer in allen drei Raumrichtungen mit einer zeitlichen Auflösung von einer Sekunde erfasst. Die beiden unabhängigen Messsysteme wurden während der Messungen miteinander synchronisiert. Hierdurch war es möglich, bei der Auswertung den jeweiligen Schwingungssignalen die entsprechende zeitgleichen Körperhaltungen mit einer zeitlichen Auflösung von einer Sekunde zuzuordnen.

Auf Basis der Messergebnisse wurden Schwingungs-Körperhaltungs-Muster abgeleitet. Für die drei analysierten Fahrtätigkeiten ergeben sich drei unterschiedliche Muster. Diese sind großteils charakterisiert durch die auszuführenden Tätigkeiten, enthalten aber auch individuelle Aspekte. Während sich die gemessenen Kopf- und Oberkörperhaltungen der drei Fahrer deutlich voneinander unterscheiden, sind die Mittelwerte des gemessenen Schwingungsgesamtwertes für die analysierten Fahrtätigkeiten nahezu identisch. Bei allen Fahrtätigkeiten wirken Ganzkörper-Schwingungen teilweise auch bei „nicht-neutralen“ Oberkörperhaltungen ein.

Auf Basis der durch die Synchronisation beider Messsysteme gewonnenen zeitgleichen Informationen über die beim Fahren einwirkenden Ganzkörper-Schwingungen und Körperhaltungen wird ein Modell für die zusätzliche Bewertung der beim Fahren einwirkenden Ganzkörperschwingungen durch die hierbei eingenommenen Oberkörperhaltungen vorgeschlagen. Bei der darin vorgeschlagenen Körperhaltungsbewertung werden die beiden gemessenen Oberkörperwinkel, die Oberkörpervorneigung und die Oberkörperseitneigung, berücksichtigt. Es wird angenommen, dass sich die „Wirkung“ beider Oberkörperwinkel addiert und dass die „günstigste“ Körperhaltung die aufrechte Fahrhaltung ohne nennenswerten Vor- oder Seitneigungen des Oberkörpers ist.

Unter Berücksichtigung des vorgeschlagenen Modells wurde aus dem Schwingungsgesamtwert ein körperhaltungsbewerteter Schwingungsgesamtwert errechnet. Für die drei analysierten Fahrtätigkeiten ergeben sich trotz nahezu identischer Mittelwerte des Schwingungsgesamtwertes unterschiedliche Mittelwerte für den körperhaltungsbewerteten Schwingungsgesamtwert. Die größte Differenz durch die Körperhaltungsbewertung ergibt sich für den Portalkran-Fahrer; die Differenzen für den Portalstapler- und Gabelstapler-Fahrer sind ähnlich und im Vergleich zum Portalkran-Fahrer nur etwa halb so groß.

Simultaneous measurement of whole-body vibrations and postures

K. Schäfer, F. Rokosch, R. Schick, I. Hermanns, R. Ellegast: Simultaneous measurement of whole-body vibrations and postures: *Zbl Arbeitsmed* 56 (2006) 329 - 342

Key words: Whole-body vibration – body posture – vibration-posture patterns – vibration total value with respect to body posture

Mesure simultanée des vibrations du corps entier et des postures

K. Schäfer, F. Rokosch, R. Schick, I. Hermanns, R. Ellegast: Mesure simultanée des vibrations du corps entier et des postures. *Zbl Arbeitsmed* 56 (2006) 329 - 342

Mots clés : Vibrations du corps entier – Postures – Modèle vibrations/postures – Valeur globale des vibrations par évaluation de posture.

Anschrift der Autoren:

Dr. rer. nat. Klaus Schäfer ■ Großhandels- und Lagerei-Berufsgenossenschaft ■ 68145 Mannheim ■ k.schaefer@grolabg.de

Frank Rokosch ■ Großhandels- und Lagerei-Berufsgenossenschaft ■ 68145 Mannheim ■ f.rokosch@grolabg.de

Ralf Schick ■ Großhandels- und Lagerei-Berufsgenossenschaft ■ 68145 Mannheim ■ r.schick@grolabg.de

Ingo Hermanns ■ Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz ■ Alte Heerstraße 111 ■ 53754 Sankt Augustin ■ ingo.hermanns@hvbv.de

Dr. rer. nat. Rolf Ellegast ■ Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz ■ Alte Heerstraße 111 ■ 53754 Sankt Augustin ■ rolf.ellegast@hvbv.de

Summary: Measurements of whole-body vibrations and postures were taken on drivers in three different vehicles – a container bridge crane, a straddle carrier and a fork-lift truck – during regular work processes. The process involved measuring the forward and lateral inclination of the head and upper torso as well as the bending and stretching of the pelvis and knees, with a sampling rate of 50 Hz. Whole-body vibrations were measured between the upper surface of the seat and the drivers' posterior in all three spatial directions, with a temporal resolution of one second. The two independent measuring systems were synchronised with each other during the measurement sequences. This made it possible in the final evaluation to correlate the respective vibration signals with the corresponding, simultaneous postures, with a temporal resolution of one second.

Vibration-posture patterns were derived from the measurements taken. The three driver activities analysed resulted in three different patterns. These are mainly characterised by the respective activities but also display certain individual aspects. While the head and torso postures of the three drivers differed significantly, the average values of the measured vibration total values were virtually identical for all of the analysed activities. In all activities, whole-body vibrations can be shown in part to act even on 'non-neutral' upper torso postures.

On the basis of the simultaneity of the information achieved through synchronisation of the two measuring systems with respect to the whole-body vibrations and the accompanying body postures while driving, a model is hereby proposed for the additional weighting of the whole-body vibrations as a result of the postures adopted. The posture weighting thus proposed takes into account the two measured upper torso angles, the forward inclination of the upper torso and lateral inclination of the same. It is assumed that the combined "effect" of the two upper torso angles is additive and that the most "favourable" body posture is the one that allows the most vertical driving posture with no appreciable forward or lateral inclination of the torso.

A vibration total value with respect to body posture was calculated from the vibration total value, taking into account the proposed model. Despite the virtually identical average values of the vibration total values, it was found that the vibration total values with respect to body posture for the three analysed driver activities differed significantly. The largest difference from the body posture weighting results for the container bridge crane driver; the differences for the straddle carrier and fork-lift truck drivers are similar; and in comparison to the container bridge driver, about half the value.

Résumé : A l'aide d'un système de mesure des postures et des vibrations, des mesures ont été effectuées auprès de conducteurs de trois véhicules différents, une grue portique, un chariot-cavalier et un chariot élévateur et ce, pendant une intervention normale en entreprise. On a mesuré l'inclinaison longitudinale et latérale de la tête et du torse ainsi que la flexion et l'extension de l'articulation de la hanche et du genou avec un taux de balayage de 50 Hz. Les vibrations du corps entier agissant sur le conducteur ont été enregistrées sur le siège entre l'assise et le fessier des conducteurs dans les trois directions spatiales avec une résolution dans le temps d'une seconde. Les deux systèmes de mesure indépendants ont été synchronisés l'un avec l'autre pendant les mesures. Cela a permis, lors de l'évaluation, d'affecter aux signaux de vibration respectifs les postures correspondantes simultanées avec une résolution temporelle d'une seconde.

Sur la base des résultats de mesure, on a déduit des modèles de vibrations/postures. Pour les trois activités de conduite analysées, on obtient trois modèles différents. Ceux-ci sont en grande partie caractérisés par les activités à réaliser, mais comportent aussi des aspects individuels. Tandis que les postures mesurées de la tête et du torse des trois conducteurs sont sensiblement différentes, les moyennes de la valeur globale des vibrations mesurées sont pratiquement identiques pour les activités de conduite analysées. Les vibrations du corps entier agissent partiellement aussi sur les postures „non-neutres“ du torse dans toutes les activités de conduite.

Sur la base des informations simultanées obtenues grâce à la synchronisation des deux systèmes de mesure sur les vibrations du corps entier agissant lors de la conduite et les postures, un modèle est proposé pour une évaluation complémentaire des vibrations du corps entier agissant lors de la conduite par les postures adoptées ce faisant par le torse. Dans l'évaluation des postures proposée dans ce modèle, les deux angles du torse mesurés, l'inclinaison longitudinale et latérale du torse sont pris en compte. On présume que l'"effet" des deux angles du torse s'ajoute et que la posture „la plus favorable“ est la position droite de conduite sans inclinaison longitudinale ou latérale notable du torse.

En tenant compte du modèle proposé, on a calculé à partir de la valeur globale des vibrations une valeur globale des vibrations par évaluation de posture. Pour les trois activités de conduite analysées, on obtient, en dépit de moyennes quasiment identiques de la valeur globale des vibrations, des moyennes différentes pour la valeur globale des vibrations par évaluation de posture. La différence majeure révélée par l'évaluation de la posture a été constatée pour le conducteur de grue portique, les différences pour le conducteur de chariot-cavalier et de chariot élévateur sont similaires et, en comparaison avec le conducteur de grue portique, à peu près moitié moins importantes.

1. Einleitung

Schwingungen wirken an einer Vielzahl von Arbeitsplätzen auf unterschiedliche Art und Weise auf Berufstätige ein. Generell können die einwirkenden Schwingungen in zwei Untergruppen unterteilt werden: Hand-Arm-Schwingungen und Ganzkörper-Schwingungen. Während Hand-Arm-Schwingungen beim Bedienen handgehaltener Arbeitsgeräte, wie beispielsweise Bohrhämmern, Pressluftschlämmern oder Schlag-schraubern, über die Hände des Beschäftigten einwirken, werden Ganzkörper-Schwingungen bei Fahrtätigkeiten überwiegend über das Gesäß des Fahrers in den Organismus eingeleitet. Die Schwingungen können, je nach ihrer Höhe und der Dauer der Einwirkung, unter Umständen auch negative Auswirkungen auf die Gesundheit der Beschäftigten haben. Dabei stehen beim Arbeiten mit handgehaltenen Arbeitsgeräten Erkrankungen des Hand-Arm-Systems und hierbei insbesondere Knochen- und Gelenkerkrankungen sowie Durchblutungsstörungen im Vordergrund, bei der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen im Sitzen vor allem Rückenbeschwerden.

Zum Schutz der Arbeitnehmer wurde 2002 auf Europäischer Ebene die Richtlinie 2002/44/EG „Vibrationen“ erlassen (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 2002). Diese formuliert Schutzziele für Arbeitnehmer gegen eine mögliche Gefährdung der Gesundheit und der Sicherheit durch die Einwirkung von Schwingungen. Die EG-Richtlinie zielt auf die Vermeidung von Gefährdungen durch die Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen und von Hand-Arm-Schwingungen ab. Sie enthält Richtwerte, bei deren Überschreitung geeignete präventive Maßnahmen erforderlich sind, sowie Grenzwerte, die auf keinen Fall überschritten werden dürfen. Neben den in der EG-Richtlinie genannten Richt- und Grenzwerten existieren seit vielen Jahren bereits präventive Richtwerte im Bereich der Normung (VDI 2057 Blatt 1 2002, VDI 2057 Blatt 2 2002).

Bei der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen werden neben der Höhe und der Dauer der Schwingungsexpo-

sition auch die beim Fahren eingenommenen Körperhaltungen als zusätzlicher Einflussfaktor für die mögliche Wirkung der Schwingungen diskutiert (Hinz et al. 1999).

Auch wenn epidemiologische Untersuchungen bisher keinen konkreten Nachweis für eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen Schwingungen, korrespondierenden Körperhaltungen und Beschwerden oder Erkrankungen im Bereich des Rückens geführt haben, so gibt es zumindest Hinweise, dass vorgebeugte und verdrehte Körperhaltungen bei der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen das Schädigungspotential möglicherweise erhöhen könnten (Burdorf et al. 1993; Sandover et al. 1994; Hoy et al. 2005).

Bisherige Untersuchungen zur Erfassung der Körperhaltungen beim Fahren von Fahrzeugen und Arbeitsmaschinen basierten fast ausschließlich auf Beobachtungen oder Videoanalysen der Fahrer. So wurden beispielsweise von Tiemessen et al. (2006) in einer aktuellen Untersuchung die Körperhaltungen bei Fahrern von Radladern und anderen Erdbaumaschinen mit einem computer-gestützten Beobachtungs- und Erfassungssystem ermittelt. Hierbei wurden fünf verschiedene Körperhaltungen, hierunter auch Sitzen in verdrehter Körperhaltung, erfasst und ausgewertet. Parallel hierzu wurden für Teilabschnitte auch Schwingungsmessungen durchgeführt.

Messungen zu Körperhaltungen an Fahrerarbeitsplätzen wurden von van Riel et al. (1995) durchgeführt. Sie erfassten Kopf- und Oberkörperhaltungen mit Hilfe eines Körperhaltungsmesssystems bei Fahrern von Portalstaplern und Kranen in einem Hafenumschlagsunternehmen. Die einwirkenden Ganzkörper-Schwingungen wurden dabei allerdings nicht gemessen.

Mit Hilfe eines Körperhaltungs- und eines Schwingungsmesssystems wurden im Rahmen der nachfolgend vorgestellten Untersuchungen gleichzeitig Ganzkörper-Schwingungen und Körperhaltungen während betriebsüblicher Tätigkeiten messtechnisch erfasst. Die gemessenen Körperwinkel und Schwingungswerte wurden mit einer zeitlichen

Auflösung von einer Sekunde aufeinander synchronisiert. Die Ergebnisse dieser Messungen sowie Ansätze für eine mögliche zusätzliche Bewertung der beim Fahren einwirkenden Ganzkörper-Schwingungen durch die eingenommenen Körperhaltungen sind nachfolgend zusammengefasst.

2. Messtechnik

Zur Erfassung der Körperhaltungen wurde das vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz (BGIA) entwickelte Messsystem für Körperhaltungen CUELA verwendet (Ellegast 1998; Ellegast & Kupfer 2000). Dieses Messsystem wurde ursprünglich für die Erfassung der Körperhaltungen bei manuellen Lastenhandhabungen entwickelt. Für die Anforderungen der Körperhaltungsmessungen bei Fahrtätigkeiten in sitzender Haltung wurden verschiedene Modifikationen an der Messanordnung vorgenommen (Ditchen et al. 2005). So durften beispielsweise im Bereich des unteren Rückens keine größeren Messaufnehmer oder Datenaufzeichnungseinheiten angebracht werden, damit sich die Fahrer während ihrer Arbeit auch auf dem Sitz anlehnen können. In Abbildung 1 ist das verwendete Messsystem dargestellt.

Nach Abbildung 1 wurden die Sensoren und die weiteren Mess- und Aufzeichnungseinheiten über der normalen Arbeitskleidung getragen. Der normale Bewegungsablauf der Fahrer wurde durch das Messsystem nicht eingeschränkt oder verändert. Mit Hilfe von Inclinometer- und Gyroskop-Sensoren sowie Goniometern wurden nachfolgende Körperwinkel messtechnisch erfasst:

- die Neigung des Kopfes und des Oberkörpers in der Sagittal- und in der Frontalebene,
- die Neigung des Beckens in der Sagittalebene
- sowie die Beugung und die Streckung der Hüft- und Kniegelenke.

Die Abtast- und Aufzeichnungsrate betrug 50 Hz. Die Winkeldaten aller Sensoren wurden per Mikroprozessor ausgelesen und auf einer Speicherkarte am Messsystem abgespeichert. Nach Ende der Messungen wurden die Daten auf einen PC übertragen und mit einer



Abbildung 1: Für die hier vorgestellten Messungen verwendete Sitzversion des Körperhaltungsmesssystems CUELA.

Figure 1: The seated-version of the CUELA body posture measuring system, as used for the measurements presented here.

Illustration 1: Version de siège du système de mesure CUELA utilisée pour les mesures ici présentées.

vom BGIA speziell für das Messsystem entwickelten Software ausgewertet. Hiermit war es möglich, Winkel-Zeit-Diagramme zu erstellen und statistische Auswertungen über die Häufigkeitsverteilung verschiedener Winkel vorzunehmen.

Parallel wurde mit einem Schwingungsanalysator vom Typ HVA 301 des Herstellers A.S.T., Angewandte SYSTEM-TECHNIK GmbH in Dresden, die Schwingungsexposition der Beschäftigten erfasst. Mit Hilfe dieses vierkanaligen Messsystems wurden sowohl die Schwingungen auf dem Sitz in den drei Raumachsen als auch die vertikale Schwingungskomponente am Sitzmontagepunkt erfasst. Der zeitliche Verlauf wurde mit einer zeitlichen Auflösung von einer Sekunde erfasst und intern abgespeichert. Die Messdaten wurden nach Beendigung der Messungen auf einen PC übertragen und mit Standardsoftware ausgewertet. Für die Beurtei-

lung der Ganzkörper-Schwingungen wurden die Frequenzbewertungskurven der Norm ISO 2631-1, Ausgabe 1997, verwendet (ISO 2631-1 1997).

Beide Messsysteme wurden mit Hilfe eines externen, manuellen Tastschalters synchronisiert. Beim Drücken dieses Tastschalters wurden auf dem Körperhaltungsmesssystem einzelne Rechteckimpulse aufgezeichnet. Der genaue Zeitpunkt dieser Impulse wurde anhand der Echtzeituhr am Schwingungsanalysator notiert. Dieser Vorgang wurde während der Messungen mehrfach wiederholt. Anhand der Rechteckimpulse in der Registrierung des Körperhaltungsmesssystems und der korrespondierenden Messzeiten des Schwingungsanalysators konnten die Messschriebe der beiden unabhängigen Messsysteme anschließend per Software zeitlich verknüpft werden. Hiermit war es möglich, die entsprechenden Körperhaltungen den Schwingungssignalen mit einer Auflösung von einer Sekunde zeitgleich zuzuordnen.

3. Untersuchte Tätigkeiten

Mit Hilfe der dargestellten Messanordnung wurde je eine Messung bei

einem Fahrer eines Portalkranes, eines Portalstaplers und eines Gabelstaplers durchgeführt und ausgewertet. Der Fahrer des Portalkranes und der Fahrer des Portalstaplers waren Beschäftigte von Hafenumschlagsunternehmen, in denen die Waren im Wesentlichen in Containern transportiert werden. Beim Gabelstaplerfahrer handelte es sich um einen Beschäftigten eines Lebensmittelgroßhandelsunternehmens.

3.1 Fahren von Portalkranen

Mit Hilfe der Portalkrane werden die Seeschiffe be- und entladen. Der Arbeitsplatz der Fahrer der Portalkrane befindet sich in einer verglasten Kabine, die in einer Höhe von etwa 40 bis 50 Metern an der sogenannten Laufkatze befestigt ist. Der Fahrer steuert von dort aus alle Bewegungen des Kranes. Ein typischer Arbeitsplatz ist in Abbildung 2 dargestellt.

Um einen Container aufzunehmen, wird vom Fahrer die Laufkatze mit dem an Seilen hängenden Tragmittel, dem sogenannten *Spreader*, zum Container verfahren, der *Spreader* auf den Container aufgesetzt, mit den vier Ecken des Containers verriegelt und der Container



Abbildung 2: Arbeitsplatz eines Portalkran-Fahrers.

Figure 2: Workplace of a container bridge driver.

Illustration 2: Poste de travail d'un conducteur de grue portique.

angehoben. Beim Aufsetzen des *Spreader* auf den Container muss der Fahrer auf die exakte Positionierung achten, damit eine ordnungsgemäße Verbindung zwischen *Spreader* und Container sichergestellt wird.

3.2 Fahren von Portalstaplern

Mit den Portalstaplern wird der Transport der Container auf dem Betriebsgelände durchgeführt. Die Fahrer haben die Aufgabe, die Container auf zugewiesene Stellplätze zwischenzulagern, für den Weitertransport bereitzustellen oder direkt auf Lkw oder Bahn-Waggons zu beladen bzw. von dort zu entladen. Die Arbeitsplätze der Fahrer befinden sich in einer geschlossenen, verglasten Kabine. Moderne Portalstapler können bis zu vier Container übereinander stapeln und haben Bauhöhen bis etwa 15 Meter. In Abbildung 3 wird ein derartiger Arbeitsplatz dargestellt.



Abbildung 3: Arbeitsplatz eines Portalstapler-Fahrers.

Figure 3: Workplace of a straddle carrier driver.

Illustration 3: Poste de travail d'un conducteur de chariot-cavalier.

3.3 Fahren von Gabelstaplern

In den Zentrallägern des Lebensmittelhandels werden die Waren üblicherweise in Hochregalen zwischengelagert und nach Bedarf für die Einzelhandelsgeschäfte zusammengestellt. Das Zu-

sammenstellen der Waren erfolgt aus den beiden unteren Ebenen des Hochregallagers durch die sogenannten Kom-

missionierer auf Basis von Bestelldaten der einzelnen Filialen. Die per Lkw ankommenden palettierten Waren werden von den Staplerfahrern auf den Lagerplätzen im Hochregallager eingelagert. Sobald eine Palette an einem Kommissionierplatz in einer der beiden unteren Ebenen geleert ist, wird durch die Staplerfahrer eine entsprechende volle Palette aus den darüber liegenden Ebenen entnommen und auf dem Kommissionierplatz abgestellt. Abbildung 4 gibt als Beispiel einen Einblick in die vorgenannten Arbeitsverhältnisse.



Abbildung 4: Arbeitsplatz eines Gabelstapler-Fahrers.

Figure 4: Workplace of a fork-lift truck driver.

Illustration 4: Poste de travail d'un conducteur de chariot élévateur.

4. Messergebnisse

Die Messungen wurden während normaler betrieblicher Tätigkeiten durchgeführt. Die jeweiligen Messdauern lagen im Bereich von etwa ein bis zwei Stunden. Die zeitliche Verknüpfung anhand der während der Messungen durchgeführten Synchronisationsmaßnahmen erfolgte bei der Zusammenführung der Messergebnisse am PC.

4.1 Zeitliche Verläufe

Im ersten Schritt werden die zeitlichen Verläufe der für die jeweilige Tätigkeit

als typisch anzusehenden Körperwinkel zusammen mit dem zeitlichen Verlauf des Schwingungsgesamtwertes a_{wv} graphisch dargestellt.

Der Schwingungsgesamtwert stellt den Vektorbetrag der drei frequenzbewerteten Beschleunigungen in x-, y- und z-Richtung (a_{wx} , a_{wy} und a_{wz}) auf dem Fahrersitz dar. Bei der Berechnung des Vektorbetrages wurden die Korrekturfaktoren k für die Beurteilung der einwirkenden Ganzkörper-Schwingungen im Hinblick auf mögliche Gesundheitsgefährdungen gemäß VDI 2057 verwendet, d. h. die frequenzbewertete Beschleunigung in der vertikalen Achse (a_{wz}) wurde mit dem Korrekturfaktor $k=1,0$ und die frequenzbewerteten Beschleunigungen in den horizontalen Achsen (a_{wx} und a_{wy}) wurden jeweils mit dem Korrekturfaktor $k=1,4$ multipliziert. Insofern gilt für die Berechnung des Schwingungsgesamtwertes:

$$a_{wv} = \sqrt{(1,4 \times a_{wx})^2 + (1,4 \times a_{wy})^2 + (1,0 \times a_{wz})^2}$$

4.1.1 Portalkran-Fahrer

In Abbildung 5 sind als Beispiel für die Messung bei dem Portalkran-Fahrer die Oberkörperverneigung und der Schwingungsgesamtwert auf dem Sitz als Funktion der Zeit graphisch dargestellt.

Nach Abbildung 5 wurden vom Fahrer während der dargestellten Messdauer überwiegend stark nach vorne geneigte Oberkörperhaltungen mit Vorneigungswinkeln von etwa 60° eingenommen. Während des dargestellten Zeitraumes wurden vom Fahrer vier Container vom Schiff aufgenommen (9:47:10 h, 9:48:00 h, 9:49:35 h und 9:52:30 h) an Land transportiert und dort abgesetzt (9:47:30 h, 9:49:00 h, 9:51:50 h und 9:53:00 h). Zwei Container wurden dabei unverzüglich abgesetzt und zwei Container vor dem Absetzen nochmals von Mitarbeitern am Boden überprüft. Diese Überprüfungen fanden im Zeitraum zwischen etwa 9:48:20 h und 9:48:40 h und zwischen etwa 9:50:00 h und 9:51:30 h statt. Während dieser Zeiträume richtete sich der Fahrer teilweise etwas auf, wobei er allerdings immer noch um etwa 40 bis 50° nach vorne geneigt

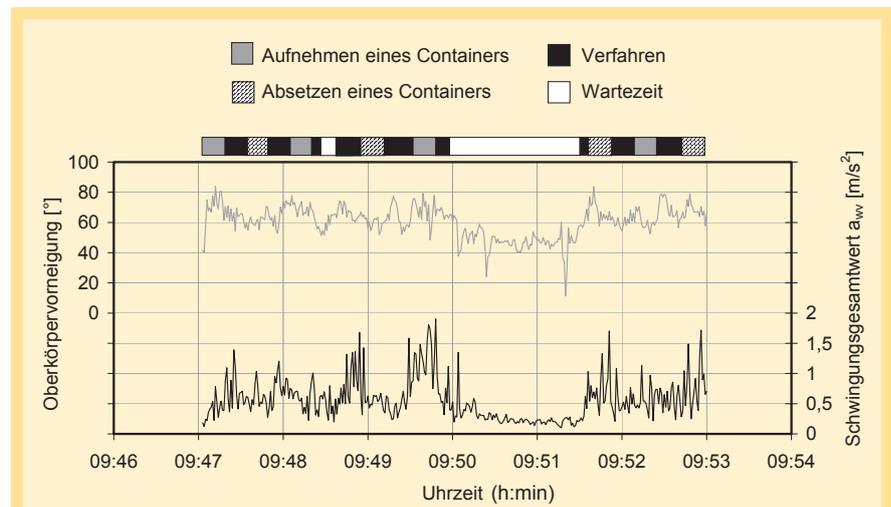


Abbildung 5: Zeitlicher Verlauf des Schwingungsgesamtwertes der frequenzbewerteten Beschleunigung auf dem Sitz des Portalkranes und der Oberkörperverneigung des Fahrers beim Löschen eines Containerschiffes.

Figure 5: Time course of the vibration total value arising from the frequency-weighted accelerations in the three directions taken at the seat of the container bridge crane, and the forward inclination of the driver's upper torso upon unloading a container ship.

Illustration 5: Variation dans le temps de la valeur globale des vibrations de l'accélération par évaluation de fréquence sur le siège du conducteur de grue portique et de l'inclinaison longitudinale du torse lors de l'extinction d'un incendie sur un navire porte-conteneurs.

war. Die Vorneigung des Oberkörpers ist dadurch bedingt, dass der Fahrer das Aufnehmen und Absetzen sowie den Transport der Container visuell verfolgen muss. Da die Kabine an der Laufkatze in einer Höhe von etwa 40 bis 50 Meter befestigt ist, neigt sich der Fahrer nach vorne und schaut auf die unterhalb von ihm befindlichen Container.

Der Schwingungsgesamtwert beim Anheben der Container, beim Verfahren und beim Absetzen der Container zeigt keine signifikanten Unterschiede. Während der längeren Wartezeit zwischen 9:50 h und 9:51 h war der Schwingungsgesamtwert entsprechend geringer als bei vorgenannten Arbeitsschritten. Den größten Beitrag zum dargestellten Schwingungsgesamtwert lieferten die Schwingungen in der horizontalen x-Achse (Brust-Rücken), wohingegen die Schwingungen in der vertikalen z-Achse nur eine untergeordnete Rolle spielten. Ferner entstanden – zumindest teilweise – beim Aufnehmen der Container auch relevante Schwingungsexpositionen in der horizontalen y-Achse (Schulter-Schulter), wie beispielsweise zwischen 9:49 h und 9:50 h. Dies geschah insbesondere dann, wenn der auf-

zunehmende Container schwer zugänglich war, so dass der Fahrer den *Spreader* mehrfach korrigieren musste.

Anhand Abbildung 5 ist somit zusammenfassend festzustellen, dass die während des dargestellten Tätigkeitsabschnitts auf den Portalkran-Fahrer einwirkenden Ganzkörper-Schwingungen bei einem stark nach vorne geneigten Oberkörper auftraten.

4.1.2 Portalstapler-Fahrer

In Abbildung 6 ist ein Ausschnitt des zeitlichen Verlaufes der Oberkörperseignung und des Schwingungsgesamtwertes auf dem Sitz für den Portalstapler-Fahrer graphisch dargestellt.

Die Abbildung zeigt, dass vom Fahrer des Portalstaplers während der Messdauer zwei Container im Bereich eines Portalkranes aufgenommen (etwa 7:55 h und 8:00 h) und auf dem Betriebsgelände zwischengelagert (etwa 7:58 h und 8:05 h) wurden. Sowohl beim Aufnehmen als auch beim Absetzen der Container neigte sich der Fahrer um etwa 20° nach rechts. Während der kurzen Wartezeiten vor der Aufnahme des ersten Containers sowie vor dem Absetzen des zweiten Containers neigte sich der Fah-

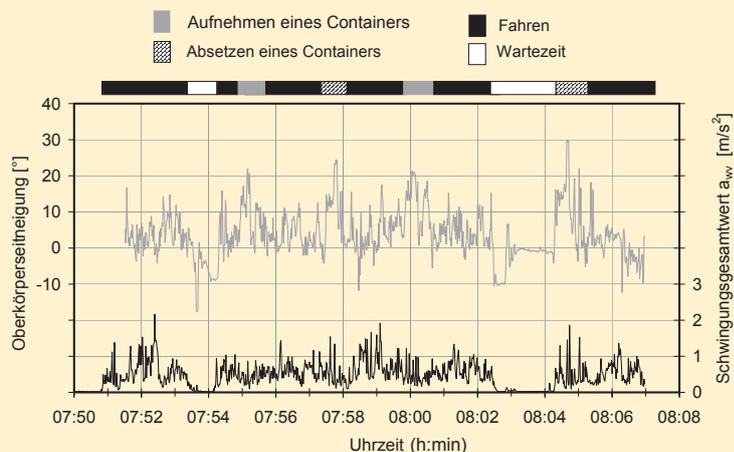


Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf des Schwingungsgesamtwertes der frequenzbewerteten Beschleunigung auf dem Sitz des Portalstaplers und der Oberkörperseitneigung des Fahrers beim Aufnehmen, Transport und Absetzen von Containern.

Figure 6: Time course of the vibration total value arising from frequency-weighted accelerations in the three directions taken at the seat of the straddle carrier, and the lateral inclination of the driver's upper torso upon raising, transporting and dropping containers.

Illustration 6: Variation dans le temps de la valeur globale des vibrations de l'accélération par évaluation de fréquence sur le siège du conducteur de chariot-cavalier et de l'inclinaison longitudinale du torse du conducteur lorsqu'il enlève, transporte et dépose des conteneurs.

rer um etwa 10° nach links. Die Oberkörperseitneigung nach rechts beim Aufnehmen oder Absetzen der Container ist dadurch bedingt, dass die Fahrerkabine oben in Fahrtrichtung links am

Portalstapler angebracht ist. Da der Fahrer den Container beim Aufnehmen und beim Absetzen visuell verfolgen muss, neigt er sich hierbei sowohl etwas nach vorne – die Oberkörperneigung ist

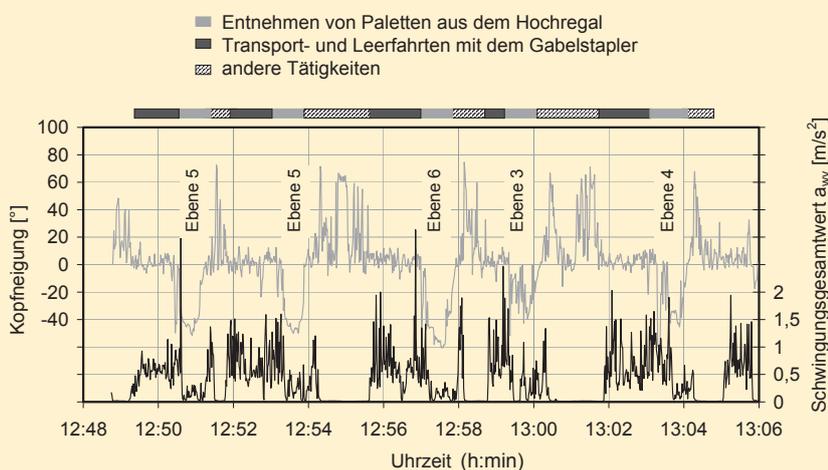


Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf des Schwingungsgesamtwertes der frequenzbewerteten Beschleunigung auf dem Sitz des Gabelstaplers und der Kopfvorneigung des Fahrers beim Ein- und Auslagern von Paletten in das bzw. aus dem Hochregallager.

Figure 7: Time course of the vibration total value arising from the frequency-weighted accelerations in the three directions taken at the seat of the fork-lift truck, and the forward inclination of the driver's head upon placing or removing pallets with respect to warehouse shelves.

Illustration 7: Variation dans le temps de la valeur globale des vibrations de l'accélération par évaluation de fréquence sur le siège du conducteur de chariot élévateur et de l'inclinaison longitudinale de la tête du conducteur lorsqu'il emmagasine ou déplace des palettes dans ou hors d'un entrepôt à rayonnages surélevés.

hier nicht explizit dargestellt – als auch zur Seite. Dahingegen entsteht die Oberkörperseitneigung nach links während der Wartezeiten durch das Abstützen des Unterarmes auf der Armatur links neben dem Fahrersitz.

Der Schwingungsgesamtwert zeigt beim Fahren und beim Aufnehmen und Absetzen der Container keine signifikanten Unterschiede. Während einzelner Abschnitte, wie beispielsweise um etwa 7:52 h oder um 7:59 h, wirkte ein etwas höherer Schwingungsgesamtwert auf den Fahrer ein. Die Höhe der Schwingungseinwirkung beim Fahren ist im Wesentlichen abhängig von der Fahrbahnbeschaffenheit des Betriebsgeländes, wie frühere Untersuchungen zeigten (Schäfer et al. 2006). Beim Fahren war üblicherweise die frequenzbewertete Beschleunigung in der vertikalen z-Achse für die Höhe des Schwingungsgesamtwertes maßgeblich. Während der anderen Tätigkeiten sowie beim Fahren auf sehr ebenen Flächen war hingegen die frequenzbewertete Beschleunigung in der horizontalen x-Achse (Brust-Rücken) bestimmend.

4.1.3 Gabelstapler-Fahrer

In Abbildung 7 ist für den Gabelstapler-Fahrer der zeitliche Verlauf der Kopfvorneigung zusammen mit dem Schwingungsgesamtwert der frequenzbewerteten Beschleunigung auf dem Sitz als Funktion der Zeit graphisch dargestellt.

Während der Messdauer wurden vom Gabelstapler-Fahrer fünf Paletten aus dem Hochregal entnommen und auf die Kommissionierplätze abgestellt. Beim Entnehmen der Paletten aus dem Hochregal verfolgte der Fahrer zuerst visuell den Hubmast und die Gabelzinken beim Anheben und Einfahren der Gabelzinken in das Hochregal unter die Palette und anschließend die Palette beim Entnehmen aus dem Hochregal und Ablassen auf Bodenniveau. Demzufolge wurde der Kopf während des gesamten Vorganges nach hinten geneigt. Diese Rückneigung betrug je nach Einlagehöhe der zu entnehmenden Palette zwischen etwa 20° beim Entnehmen der Palette aus der dritten Regalebene bis zu etwa 60° beim Entnehmen der Palette

aus der sechsten Regalebene. Die Schwingungsexposition war während der Palettenentnahme aus dem Hochregal gering, da der Gabelstapler hierbei nicht verfahren wurde, sondern auf einer Stelle stand.

Üblicherweise sind die Paletten zur Ladungssicherung mit Schrumpffolie umwickelt. Bevor die Palette auf dem Kommissionierplatz abgestellt wurde, entfernte der Gabelstapler-Fahrer diese Folie. Ferner entnahm er teilweise auch die auf den Kommissionierplätzen liegenden leeren Paletten und brachte sie zu den entsprechenden Sammelplätzen. Diese Tätigkeiten, die nicht mit der Fahrtätigkeit verbunden waren, wurden als „andere Tätigkeiten“ in Abbildung 7 zusammengefasst.

Während des Transportes der Paletten zu den Kommissionierplätzen und während der Leerfahrten war der Kopf mehr oder weniger in einer Neutralstellung. Die Schwingungsexposition war hierbei größer als bei der Palettenentnahme aus dem Hochregal. Der Schwingungsgesamtwert wurde im Wesentlichen durch die beiden horizontalen Komponenten (x- und y-Achse) bestimmt. Die Schwingungen in der vertikalen z-Achse lieferten keinen wesentlichen Beitrag zum Schwingungsgesamtwert.

4.2 Schwingungs-Körperhaltungsmuster

Um eine bessere Visualisierung der gemessenen Oberkörperhaltungen (Oberkörpervorneigung und Oberkörperseitneigung) und deren Verknüpfung zu erhalten, werden diese nachfolgend als „Muster“ in einer zweidimensionalen Grafik dargestellt. Bei diesen Mustern wird die Oberkörpervorneigung auf der y-Achse als Funktion der Oberkörperseitneigung auf der x-Achse gezeigt. Bei dieser Art der Darstellung entspricht eine aufrechte Körperhaltung ohne Oberkörpervor- und Oberkörperseitneigung einem Punkt im Koordinatenursprung (0° ; 0°). Oberkörpervorneigungen ohne Oberkörperseitneigungen entsprechen Punkten entlang der y-Achse, während Oberkörperseitneigungen ohne Oberkörpervorneigungen Punkte auf der x-Achse entsprechen.

Zusätzlich sind den einzelnen Messpunkten auch die jeweiligen Schwingungsgesamtwerte zugeordnet. Hierzu sind die Messpunkte je nach der Höhe des Schwingungsgesamtwertes der frequenzbewerteten Beschleunigung farblich unterschieden; es wurde dabei folgende Einteilung gewählt: weiß für Schwingungsgesamtwerte kleiner als $0,75 \text{ m/s}^2$, grau für Schwingungsgesamtwerte von $0,75$ bis $1,5 \text{ m/s}^2$ und schwarz für Schwingungsgesamtwerte größer als $1,5 \text{ m/s}^2$.

In Abbildung 8 sind derartige „Schwingungs-Körperhaltungsmuster“ für den Portalkran-, Portalstapler- und Gabelstapler-Fahrer grafisch dargestellt. Die dargestellten Muster repräsentieren jeweils eine etwa zehnminütige Tätigkeit, so dass aufgrund der zeitlichen Auflösung der Messpunkte von einer Sekunde, bedingt durch die zeitliche Auflösung des verwendeten Schwingungsanalysators, insgesamt jeweils etwa 600 Messpunkte enthalten sind.

Nach Abbildung 8 (oben) war der Fahrer des Portalkranes überwiegend stark nach vorne geneigt mit Vorneigewinkeln des Oberkörpers bis zu 80° , eine signifikante Seitneigung wurde von ihm hingegen nicht eingenommen. Neutrale Körperhaltungen um den „Nullpunkt“ kamen während der hier dargestellten Messdauer nicht vor. Schwingungseinwirkungen mit Schwingungsgesamtwerten der frequenzbewerteten Beschleunigung von $0,75 \text{ m/s}^2$ und mehr traten überwiegend bei Oberkörpervorneigungen im Bereich von etwa 50 bis 80° auf.

Der Fahrer des Portalstaplers hatte nach Abbildung 8 (Mitte) während der dargestellten Messdauer den Oberkörper teils in mehr oder weniger neutraler aufrechter Haltung und teils auch um etwa 30 bis 40° nach rechts und gleichzeitig um etwa 20 bis 30° nach vorne geneigt. Schwingungseinwirkungen mit Schwingungsgesamtwerten der frequenzbewerteten Beschleunigung von $0,75 \text{ m/s}^2$ und mehr traten sowohl bei neutraler Körperhaltung als auch bei zur Seite und gleichzeitig nach vorne geneigter Oberkörperhaltung auf.

Das Schwingungs-Körperhaltungsmuster für den Gabelstapler-Fahrer ist in

Abbildung 8 (unten) dargestellt. Der Fahrer des Gabelstaplers hatte während der dargestellten Messdauer überwiegend eine aufrechte Oberkörperhaltung mit einer leichten Seitneigung von etwa 20° nach rechts. Bei dieser Oberkörperhaltung traten auch die höchsten Schwingungsgesamtwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung auf.

Abbildung 8 ist zu entnehmen, dass für die im Rahmen der Messungen untersuchten Fahrtätigkeiten unterschiedliche Schwingungs-Körperhaltungsmuster vorliegen. Die Körperhaltungsmuster sind im Wesentlichen durch den Arbeitsplatz und die durchzuführenden Tätigkeiten bestimmt. Während der Fahrer des Portalkranes während seiner gesamten Tätigkeit nach unten auf die zu transportierenden Container achten musste, konnte der Fahrer des Portalstaplers beim Transport der Container mehr oder weniger aufrecht sitzen. Bei der Aufnahme und beim Absetzen der Container hatte allerdings auch er auf den unterhalb der Fahrerkabine befindlichen Container zu achten. Da die Fahrerkabine in Fahrtrichtung links angebracht war, musste sich der Fahrer zusätzlich auch nach rechts neigen. Das Schwingungs-Körperhaltungsmuster des Gabelstapler-Fahrers ergibt eine überwiegend leicht nach rechts geneigte Oberkörperhaltung beim Fahren des Gabelstaplers. Dies ist einerseits dadurch zu erklären, dass der Fahrer beim Entnehmen von Paletten aus dem Hochregal die Gabel und die zu transportierende Palette beobachten musste. Da der Fahrer seitlich zur Fahrtrichtung und zum Hubmast saß, musste er sich hierbei nach rechts neigen. Außerdem konnte sich der Fahrer beim Fahren auf der rechts neben ihm befindlichen Armatur mit dem Unterarm abstützen. Insofern ist das dargestellte Muster durchaus bedingt durch die auszuführende Tätigkeit, andererseits wird es aber auch durch ein individuelles Verhalten beeinflusst. Inwieweit das dargestellte Muster daher für die untersuchte Tätigkeit oder vielmehr für den untersuchten Fahrer als typisch anzusehen ist, kann nur anhand weiterer Messungen überprüft werden.

Die dargestellten Muster zeigen fer-

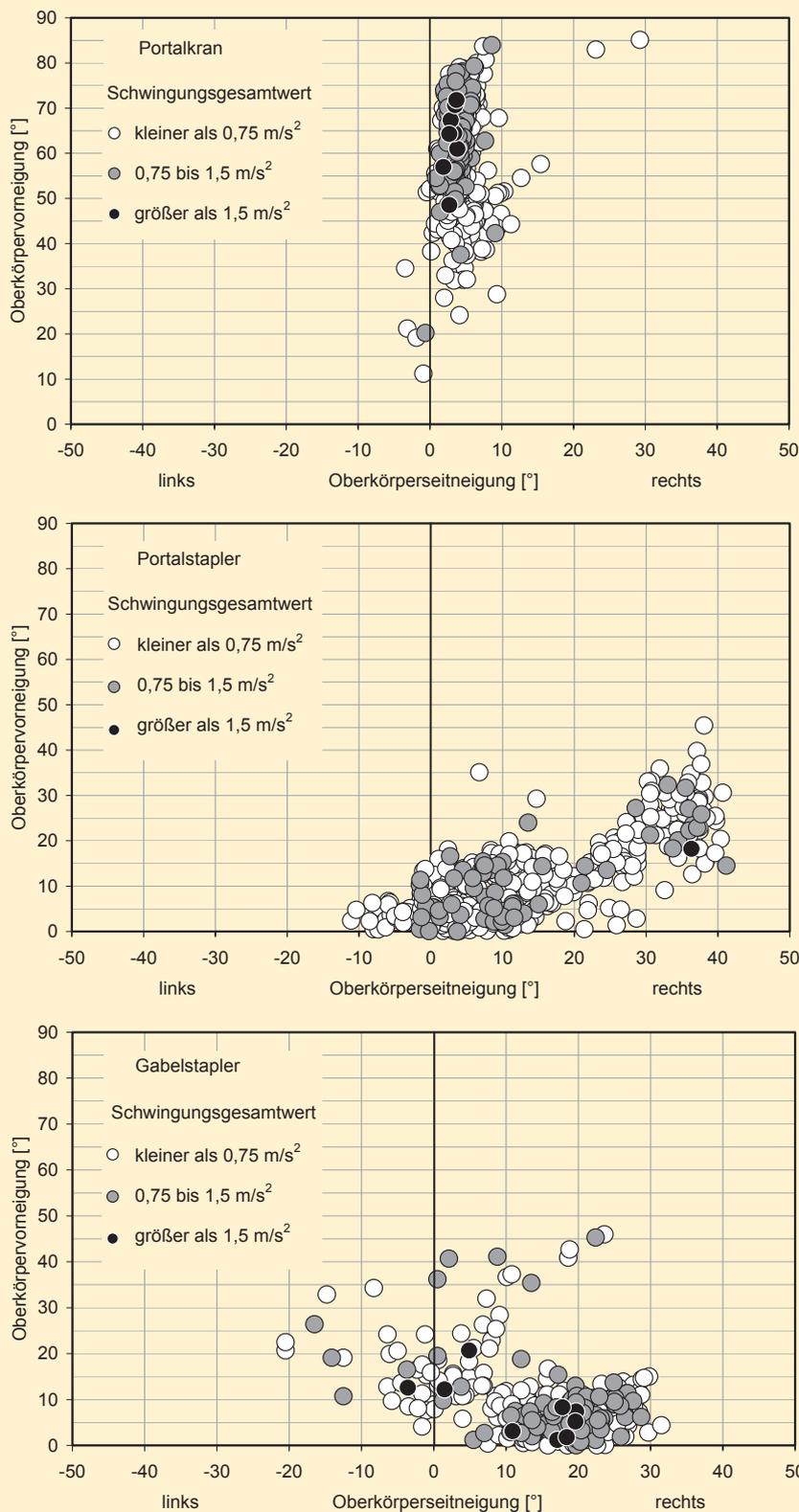


Abbildung 8: Schwingungs-Körperhaltungsmuster für je eine Messung bei einem Portalkran-, Portalstapler- und einem Gabelstaplerfahrer. Dargestellt sind die Oberkörpervorneigung als Funktion der Oberkörperseitneigung. Die unterschiedlichen Farben der Messpunkte repräsentieren unterschiedlich hohe Schwingungseinwirkungen.

Figure 8: Vibration-posture patterns for each measurement taken with a container bridge crane, straddle carrier or fork-lift truck driver. The forward inclination of the upper torso is presented as a function of the upper body's lateral inclination. The various colours of the measuring points represent the differing intensities of the acting whole-body vibrations.

Illustration 8: Modèle de vibrations/postures pour chaque mesure chez un conducteur de grue portique, de chariot-cavalier et de chariot élévateur. Avec une représentation de l'inclinaison longitudinale du torse en tant que fonction de l'inclinaison latérale du torse. Les diverses couleurs des points de mesure correspondent aux effets différemment importants des vibrations.

ner, dass signifikante Schwingungseinwirkungen bei allen untersuchten Tätigkeiten zumindest teilweise auch in stark von der Neutralstellung abweichenden Körperhaltungen erfolgen.

5. Körperhaltungsbewertung der frequenzbewerteten Beschleunigung

Wie die vorgestellten Messergebnisse zeigen, können den gemessenen – über das Gesäß des Fahrers einwirkenden – frequenzbewerteten Beschleunigungen unmittelbar die hierbei jeweils eingenommenen Körperhaltungen zugeordnet werden. Um den möglichen Einfluss der Körperhaltung bei der Exposition gegenüber Ganzkörper-Schwingungen bezüglich möglicher gesundheitlicher Wirkungen, insbesondere für den Bereich des unteren Rückens, zu berücksichtigen, können die gemessenen Oberkörperhaltungen für eine Art „Körperhaltungsbewertung“ der frequenzbewerteten Beschleunigung herangezogen werden. Da bei den Oberkörperhaltungen die Oberkörpervorneigung und die Oberkörperseitneigung messtechnisch erfasst wurden, sind beide Winkel als zusätzliche „Bewertungsfaktoren“ anwendbar. Die Oberkörperrotation konnte nicht messtechnisch erfasst werden, so dass eine entsprechende Bewertung hierfür nach derzeitigem Stand der verwendeten Messtechnik nicht möglich ist.

Gemäß dieser Vorgaben wird als erster

$c1=1/90^\circ$ und $c2=1/90^\circ$				
$\alpha \backslash \beta$	0°	15°	30°	45°
0°	1,00	1,17	1,33	1,50
15°	1,17	1,33	1,50	1,67
30°	1,33	1,50	1,67	1,83
45°	1,50	1,67	1,83	2,00
60°	1,67	1,83	2,00	2,17

$c1=1/180^\circ$ und $c2=1/90^\circ$				
$\alpha \backslash \beta$	0°	15°	30°	45°
0°	1,00	1,17	1,33	1,50
15°	1,08	1,25	1,42	1,58
30°	1,17	1,33	1,50	1,67
45°	1,25	1,42	1,58	1,75
60°	1,33	1,50	1,67	1,83

$c1=1/180^\circ$ und $c2=1/180^\circ$				
$\alpha \backslash \beta$	0°	15°	30°	45°
0°	1,00	1,08	1,17	1,25
15°	1,08	1,17	1,25	1,33
30°	1,17	1,25	1,33	1,42
45°	1,25	1,33	1,42	1,50
60°	1,33	1,42	1,50	1,58

$c1=1/270^\circ$ und $c2=1/180^\circ$				
$\alpha \backslash \beta$	0°	15°	30°	45°
0°	1,00	1,08	1,17	1,25
15°	1,06	1,14	1,22	1,31
30°	1,11	1,19	1,28	1,36
45°	1,17	1,25	1,33	1,42
60°	1,22	1,31	1,39	1,47

Tabelle 1: Körperhaltungsfaktor h in Abhängigkeit von der Oberkörpervorneigung und der Oberkörperseitneigung. Dargestellt sind Körperhaltungsfaktoren h für vier verschiedene Kombinationen von $c1$ und $c2$.

Table 1: Posture factor h with respect to the forward inclination and lateral inclination of the upper torso respectively. The table shows the posture factors h for four different combinations of $c1$ and $c2$.

Tableau 1: Facteur de posture h en fonction de l'inclinaison longitudinale et latérale du torse. Les facteurs h sont représentés pour quatre combinaisons différentes de $c1$ et $c2$.

Ansatz ein Körperhaltungsfaktor h definiert, der mit dem Schwingungsgesamtwert der frequenzbewerteten Beschleunigung a_{wv} multipliziert werden soll, so dass hieraus ein körperhaltungsbewerteter Schwingungsgesamtwert $a_{\text{h,wv}}$ resultiert:

$$a_{\text{h,wv}} = h \times a_{\text{wv}}$$

Da aus der Literatur keine quantitativen Angaben zur Bewertung der unterschiedlichen Körperhaltungen beim Fahren abgeleitet werden können, andererseits aber Hinweise vorliegen, nach denen eine Schwingungseinwirkung bei starker Vorneigung, Seitneigung oder Verdrehung des Oberkörpers das Entstehen von Rückenbeschwerden begünstigt (Seidel et al. 1995; Hoy et al. 2005), wird bei der Definition der Körperhaltungsbewertung von nachfolgenden vereinfachten Annahmen ausgegangen:

1. Die günstigste Haltung ist die aufrechte Oberkörperhaltung.
2. Die negative Wirkung der Körperhaltung nimmt linear mit steigender Vorneigung des Oberkörpers zu.
3. Die negative Wirkung der Körperhaltung nimmt linear mit steigender Seitneigung des Oberkörpers zu.
4. Die negativen Wirkungen der Oberkörpervorneigung und der Oberkörperseitneigung addieren sich.

Auf Basis vorgenannter Annahmen wird der Körperhaltungsfaktor h gemäß nachfolgender Gleichung definiert:

$$h = 1 + (c1 \times \alpha + c2 \times \beta)$$

$c1$: Konstante für die Stärke der Körperhaltungsbewertung der Oberkörpervorneigung [1°]

α : Betrag der Oberkörpervorneigung [$^\circ$]

$c2$: Konstante für die Stärke der Körperhaltungsbewertung der Oberkörperseitneigung [1°]

β : Betrag der Oberkörperseitneigung [$^\circ$]

Entsprechend der Definition ist der Körperhaltungsfaktor $h=1$, wenn der Oberkörper aufrecht gehalten wird, d. h. sowohl der Oberkörpervorneigungswinkel als auch der Oberkörperseitneigungswinkel beträgt 0° ($\alpha=\beta=0^\circ$). Für diesen Fall sind körperhaltungsbewerteter Schwingungsgesamtwert und nichtkörperhaltungsbewerteter Schwingungsgesamtwert identisch. Wird der Oberkörper nach vorne oder zur Seite geneigt steigt der Körperhaltungsfaktor h linear mit den entsprechenden Winkeln an. Die Konstanten $c1$ und $c2$ skalieren das jeweilige Maß der Stärke der Körperhaltungsbewertung, getrennt für die Ober-

körpervorneigung ($c1$) und die Oberkörperseitneigung ($c2$). Für eine Konstante von $c1=1/90^\circ$ ergibt sich beispielsweise bei einer Vorneigung des Oberkörpers von 45° – ohne zusätzliche Seitneigung des Oberkörpers – ein Körperhaltungsfaktor von $h=1+45^\circ/90^\circ=1,5$ und für $c1=1/180^\circ$ bei gleicher Vorneigung ein Körperhaltungsfaktor von $h=1+45^\circ/180^\circ=1,25$.

In Tabelle 1 sind für fünf verschiedene Oberkörpervorneigungswinkel (0° , 15° , 30° , 45° und 60°) und vier Oberkörperseitneigungswinkel (0° , 15° , 30° und 45°) die Körperhaltungsfaktoren h berechnet, und zwar für die Werte $c1=c2=1/90^\circ$, für $c1=1/180^\circ$ und $c2=1/90^\circ$, für $c1=c2=1/180^\circ$ sowie für $c1=1/270^\circ$ und $c2=1/180^\circ$.

Nach Tabelle 1 nimmt der Körperhaltungsfaktor h entsprechend der zuvor gemachten Definition mit zunehmender Oberkörpervorneigung und Oberkörperseitneigung zu. Im Falle von $c1=c2=1/90^\circ$ reichen die berechneten Körperhaltungsfaktoren bis $h=2,17$, während bei $c1=1/270^\circ$ und $c2=1/180^\circ$ die Körperhaltungsfaktoren maximal den Wert $h=1,47$ erreichen.

Auf der Basis vorgenannter Annahmen und Definitionen kann jeder Messpunkt des Schwingungsgesamtwertes der frequenzbewerteten Beschleunigung a_{wv} mit einem zeitlich korrelierenden Körperhaltungsfaktor h_i multipli-

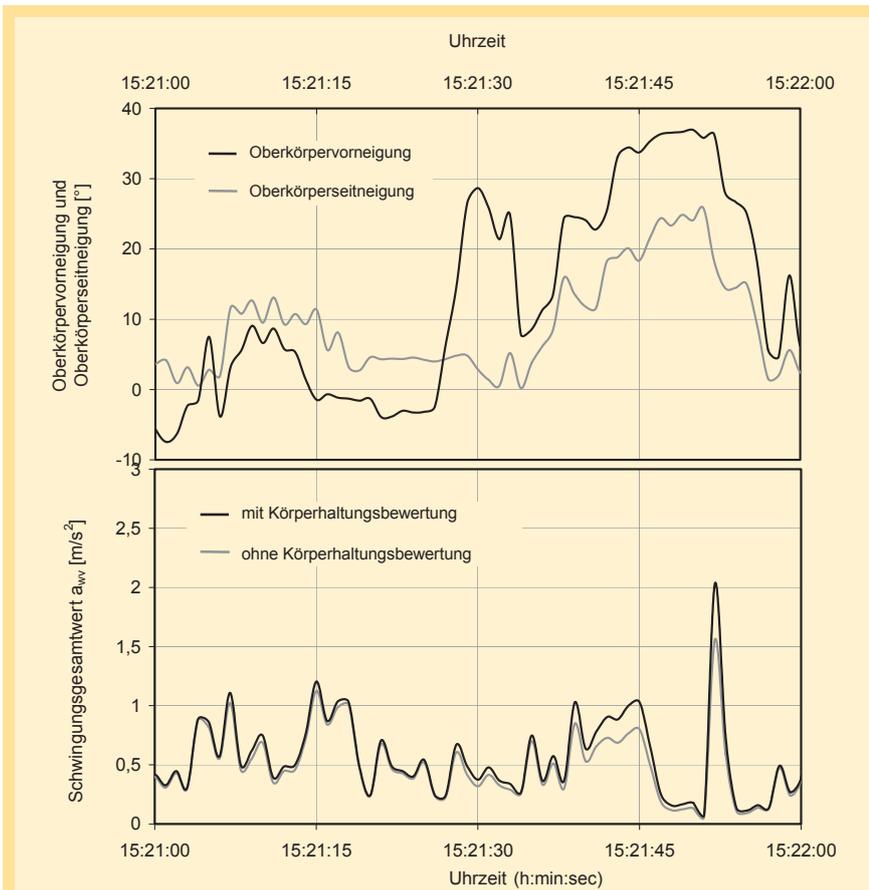


Abbildung 9: Zeitlicher Verlauf der Schwingungsgesamtwerte der frequenzbewertete Beschleunigungen auf dem Sitz (unten) und zugehörige Körperhaltungen (oben). Dargestellt sind die Oberkörper vorneigung (oben-schwarz) und die Oberkörper seitneigung (oben-grau) sowie der Schwingungsgesamtwert (unten-grau) und der körperhaltungsbewertete Schwingungsgesamtwert (unten-schwarz).

Figure 9: Time course of the vibration total value arising from the frequency-weighted accelerations taken at the seat (below) and associated postures (above). The illustration shows the forward inclination of the upper torso (above, black) and the upper torso's lateral inclination (above, grey) together with the vibration total value (below, grey) and the vibration total value with respect to the body posture (below, black).

Illustration 9: Variation dans le temps de la valeur globale des vibrations des accélérations par évaluation de fréquence sur le siège (en bas) et des postures correspondantes (en haut). Avec une représentation de l'inclinaison longitudinale du torse (en haut-en noir) et de l'inclinaison latérale du torse (en haut-en gris) ainsi que de la valeur globale des vibrations (en bas-en gris) et de la valeur globale des vibrations par évaluation de posture (en bas-en noir).

ziert werden. Hieraus resultiert der körperhaltungsbewertete Schwingungsgesamtwert $a_{h,wv,i}$.

In Abbildung 9 (oben) ist der zeitliche Verlauf der Oberkörper vorneigung (schwarz) und der Oberkörper seitneigung (grau) und in Abbildung 9 (unten) der zeitliche Verlauf des Schwingungsgesamtwertes der frequenzbewerteten Beschleunigung ohne Körperhaltungsbewertung (grau) und mit Körperhaltungsbewertung (schwarz) für einen Tätigkeitsabschnitt beim Fahren des Portalstaplers als Beispiel grafisch dar-

gestellt. Als Konstanten c_1 und c_2 für die Stärke der Körperhaltungsbewertungen der Oberkörper vorneigung und der Oberkörper seitneigung wurde

$$c_1=c_2=1/180^\circ \text{ gewählt.}$$

Nach Abbildung 9 war der Oberkörper des Portalstapler-Fahrers während der hier dargestellten einminütigen Tätigkeit zuerst mehr oder weniger aufrecht ohne nennenswerte Vor- und Seitneigungen. Während dieser Dauer ist der Schwingungsgesamtwert mit Körper-

haltungsbewertung nahezu identisch mit dem Schwingungsgesamtwert ohne Körperhaltungsbewertung. Ab etwa der Mitte des dargestellten Zeitabschnittes neigte sich der Fahrer sowohl nach vorne als auch zur Seite mit Oberkörper vorneigungen bis etwa 35° und Oberkörper seitneigungen bis etwa 25° . Der körperhaltungsbewertete Schwingungsgesamtwert ist für diesen Zeitabschnitt entsprechend deutlich größer als der nicht-körperhaltungsbewertete Schwingungsgesamtwert.

Auf der Basis der gemäß vorgenannter Annahmen errechneten und in Abbildung 9 grafisch dargestellten Zeitverläufe kann schließlich auch der Mittelwert des Schwingungsgesamtwertes einer Messung körperhaltungsbewertet werden. Hierbei sind die Algorithmen für die Berechnung des energetischen Mittelwertes gemäß VDI 2057 zu berücksichtigen. Unter diesen Vorgaben und den Annahmen für die Körperhaltungsbewertung ergibt sich nachfolgender Zusammenhang:

$$a_{h,wv} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N (h(\alpha_i, \beta_i) \times a_{wv,i})^2}$$

$a_{h,wv}$: Mittelwert des körperhaltungsbewerteten Schwingungsgesamtwertes

T: Messdauer

N: Anzahl der Messwerte

$h(\alpha_i, \beta_i)$: Körperhaltungsfaktor des i-ten Messwertes

$a_{wv,i}$: Schwingungsgesamtwert des i-ten Messwertes

Aufgrund der Tatsache, dass der körperhaltungsbewertete Schwingungsgesamtwert immer gleich oder größer als der nicht-körperhaltungsbewertete ist, ist auch der errechnete Mittelwert des körperhaltungsbewerteten Schwingungsgesamtwertes immer gleich oder größer als der Mittelwert des nicht-körperhaltungsbewerteten.

Tätigkeit	Schwingungs- gesamtwert a_{wv} [m/s ²]	körperhaltungsbewerteter Schwingungsgesamtwert $a_{h,wv}$ [m/s ²]				Verhältnis $a_{h,wv}/a_{wv}$			
		c1=1/90° c2=1/90°	c1=1/180° c2=1/90°	c1=1/180° c2=1/180°	c1=1/270° c2=1/180°	c1=1/90° c2=1/90°	c1=1/180° c2=1/90°	c1=1/180° c2=1/180°	c1=1/270° c2=1/180°
Portalkran- Fahrer	0,63	1,10	0,88	0,86	0,79	1,74	1,40	1,37	1,25
Portalstapler- Fahrer	0,63	0,86	0,80	0,74	0,72	1,37	1,27	1,17	1,14
Gabelstapler- Fahrer	0,61	0,80	0,76	0,70	0,69	1,31	1,25	1,15	1,13

Tabelle 2: Zusammenstellung der über die Messdauern gemittelten Schwingungs-gesamtwerte ohne Körperhaltungsbewertung (a_{wv}) und mit Körperhaltungsbewertung ($a_{h,wv}$) sowie die errechneten Verhältnisse $a_{h,wv}/a_{wv}$ für unterschiedliche Stärken der Körperhaltungsbewertung.

Table 2: Summary of the vibration total values averaged over measurement duration without body posture weighting (a_{wv}) and with respect to posture weighting ($a_{h,wv}$) and the ratios $a_{h,wv}/a_{wv}$ for the various intensities of the posture weighting.

Tableau 2: Récapitulation des moyennes des valeurs globales des vibrations sur les durées de mesure sans (a_{wv}) et avec évaluation de posture ($a_{h,wv}$) ainsi que des rapports calculés $a_{h,wv}/a_{wv}$ pour des forces différentes de l'évaluation des postures.

Für die im Rahmen der hier vorgestellten Arbeiten durchgeführten prototypischen Messungen bei einem Portalkran-, einem Portalstapler- und einem Gabelstapler-Fahrer, wurde der Schwingungs-gesamtwert entsprechend dem vorgenannten Verfahren mit dem Körperhaltungsfaktor h „körperhaltungsbewertet“ und die Mittelwerte für die ausgewerteten Messdauern errechnet. Die Ergebnisse sind zusammen mit den nicht-körperhaltungsbewerteten Mittelwerten in Tabelle 2 zusammengefasst. Dabei wurden die Berechnungen der Mittelwerte mit den in Tabelle 1 genannten vier Kombinationen von c1 und c2 durchgeführt. Ferner sind in der Tabelle auch die Verhältnisse von körperhaltungsbewertetem zu nicht-körperhaltungsbewertetem Schwingungs-gesamtwert enthalten.

Nach Tabelle 2 betragen die gemessenen Mittelwerte des Schwingungs-gesamtwertes a_{wv} für das Fahren des Portalkranes und des Portalstaplers jeweils 0,63 m/s² und für das Fahren des Gabelstaplers 0,61 m/s². Die drei gemessenen Fahrtätigkeiten ergeben somit ohne zusätzliche Körperhaltungsbewertung nahezu identische Mittelwerte. Unter Berücksichtigung der Körperhaltungsbewertung gemäß vorgenannter Annahmen und Definitionen unterscheiden sich die verschiedenen Messungen jedoch voneinander. Die höchsten Werte für den körperhaltungsbewerteten Schwingungs-gesamtwert errechnen sich für den Fahrer des Portalkranes. Je nach Höhe der Konstanten c1 und c2 errechnen sich

körperhaltungsbewertete Schwingungs-gesamtwerte, die zwischen 25 und 74% höher liegen als die nicht-körperhaltungsbewerteten Schwingungs-gesamtwerte. Für den Fahrer des Portalstaplers und den Fahrer des Gabelstaplers sind die Zuschläge durch die Körperhaltungsbewertung nahezu identisch.

6. Diskussion

Der mögliche Einfluss ungünstiger, d.h. nach vorne oder zur Seite geneigter oder verdrehter Oberkörperhaltungen auf die Wirkung von Ganzkörperschwingungen im Sitzen wird seit vielen Jahren untersucht. Die bisherigen Diskussionen basieren dabei überwiegend auf Laboruntersuchungen zur Schwingungswahrnehmung, biomechanischen Überlegungen zum Einfluss der Körperhaltung oder auf epidemiologischen Studien zu möglichen Zusammenhängen von Ganzkörperschwingungen und Rückenschmerzen.

So führten zum Beispiel Osborne & Boarer (1982) experimentelle Untersuchungen unter Laborbedingungen durch, um den Einfluss dreier unterschiedlicher Körperhaltungen, nämlich stehend, aufrecht sitzend und nach vorne geneigt sitzend, auf die Schwingungswahrnehmung zu erfassen. Nach den Ergebnissen dieser Studie konnten die Autoren keinen signifikanten Unterschied in der Schwingungswahrnehmung zwischen aufrechter und nach vorne geneigter Sitzhaltung bei den beteiligten Probanden feststellen.

Von Seidel et al. (1995) wurde bei umfangreichen experimentellen Labormessungen auch die Wirkung unterschiedlicher Körperhaltungen bei der Einwirkung von Ganzkörperschwingungen untersucht. Die Autoren fanden hierbei unter anderem, dass die Einwirkung von Ganzkörperschwingungen bei vorgelegten Oberkörperhaltungen ein höheres Risiko für die Entstehung von Rückenbeschwerden im Bereich der Lendenwirbelsäule aufweist als die Einwirkung von Ganzkörperschwingungen in normaler Fahrerhaltung.

In Rahmen einer Querschnittstudie wurden von Hoy et al. (2005) bei Gabelstaplerfahrern häufiger Rückenschmerzen festgestellt als bei der gleichzeitig erfassten Referenzgruppe. Neben Befragungen zur gesundheitlichen Situation wurden auch Schwingungsmessungen und Körperhaltungsanalysen per Videoaufnahmen und Beobachtungen durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse zeigten, dass beim Fahren eingenommene ungünstige Oberkörperhaltungen, wie beträchtliche Verdrehungen oder Vorneigungen, mit dem größten Risiko für Rückenschmerzen verbunden waren.

Die bisherigen Untersuchungen beschreiben die möglichen Einflüsse der Körperhaltungen überwiegend rein qualitativ. Quantitative Angaben für die zusätzliche Bewertung ungünstiger Körperhaltungen, zum Beispiel in Abhängigkeit von der Stärke der Vorneigung, der Verdrehung oder der Seitneigung des

Oberkörpers, bei gleichzeitiger Einwirkung von Ganzkörperschwingungen konnten aus der zur Verfügung stehenden Literatur nicht abgeleitet werden.

Messungen von Körperhaltungen bei Fahrtätigkeiten unter normalen Arbeitsbedingungen wurden bisher eher selten durchgeführt (van Riel et al. 1995; Ditchen et al. 2005; Schäfer et al. 2006). Gleichzeitige Messungen von Körperhaltungen und Ganzkörperschwingungen wurden – soweit bekannt – unter realen Arbeitsbedingungen noch nicht durchgeführt.

Mit der hier vorgestellten Messanordnung ist es nunmehr möglich, unter normalen Arbeitsbedingungen Körperhaltungen zeitgleich mit Ganzkörperschwingungen messtechnisch zu erfassen und bei der Auswertung zeitlich zu synchronisieren. Somit können die beim Fahren eingenommenen Körperhaltungen den einwirkenden Ganzkörperschwingungen zeitgleich zugeordnet werden. Die zeitliche Auflösung der einzelnen Messpunkte beträgt – bedingt durch den verwendeten Schwingungsanalysator – eine Sekunde, was für die analysierten Tätigkeiten durchaus als ausreichend anzusehen ist.

Aufgrund der nunmehr vorhandenen Möglichkeit, die beim Fahren eingenommenen Körperhaltungen den hierbei einwirkenden Ganzkörperschwingungen unmittelbar zuzuordnen, wurde ein erster Vorschlag für eine Körperhaltungsbewertung durch Multiplikation der gemessenen Beschleunigungswerte mit dem Faktor $h=1+(c_1x\alpha+c_2x\beta)$ abgeleitet. Dabei sind α der Vorneigungs- und β der Seitneigungswinkel des Oberkörpers und c_1 und c_2 Konstanten, die die Stärke der Körperhaltungsbewertung durch die Oberkörpervorneigung und Oberkörperseitneigung wiedergeben. Bei diesem Ansatz wird aufgrund fehlender weiterer Erkenntnisse unterstellt, dass mit zunehmender Vor- und Seitneigung des Oberkörpers die Schwingungseinwirkung linear „ungünstiger“ wird. Ferner wird unterstellt, dass die „negativen“ Einflüsse der Oberkörpervorneigung und der Oberkörperseitneigung addiert werden können.

Bei Anwendung des vorgenannten Vorschlages für die Körperhaltungsbewertung bei der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen im Sitzen ergaben sich für die messtechnisch analysierten Tätigkeiten eines Portalkran-, eines Portalstapler- und eines Gabelstapler-Fahrers unterschiedliche „körperhaltungsbewertete“ Schwingungsgesamtwerte, obwohl die Schwingungsgesamtwerte ohne Körperhaltungsbewertung nahezu identisch waren. Der Einfluss der Körperhaltung war beim Fahrer des Portalkranes am größten; der Einfluss der Körperhaltung beim Fahrer des Portalstaplers und des Gabelstaplers waren in etwa gleichwertig.

Der hier vorgestellte Ansatz für die Körperhaltungsbewertung ist nicht als abschließend anzusehen, sondern vielmehr als erster Vorschlag. Er beinhaltet den Einfluss von Oberkörpervorneigung und Oberkörperseitneigung. Oberkörpertorsionen können bislang bei sitzenden Tätigkeiten mit dem verwendeten Körperhaltungsmesssystem nicht erfasst werden. Diese sind bei der Körperhaltungsbewertung daher auch nicht berücksichtigt worden. Eine entsprechende Erweiterung wäre jedoch bei Vorhandensein entsprechender Winkelinformationen möglich.

Es ist ferner zu diskutieren, inwieweit weitere Körperhaltungen berücksichtigt werden müssen. Insbesondere die beim Sitzen eingenommene Stellung des Beckens (aufrecht oder nach hinten gekippt) mag einen weiteren, nicht unwesentlichen Ansatz für die zusätzliche Bewertung von Körperhaltungen im Hinblick auf „Rückenbeschwerden“ darstellen, da die Flexion der Wirbelsäule bei sitzenden Tätigkeiten entscheidend durch die Stellung des Beckens beeinflusst wird.

Aufbauend auf den bisherigen Messungen und Auswertungen sind weitere Untersuchungen erforderlich. Hierbei ist insbesondere zu klären, inwieweit bestimmte Körperhaltungen als typisch für bestimmte Fahrtätigkeiten angesehen werden können. Hierfür gibt es auf Basis bisherigen Untersuchungen zumindest Hinweise. So kamen unterschiedliche Untersuchungen bei Fahrern von Portalkranen und Portalstaplern zu ähnlichen Körperhaltungsmustern (van Riel 1995; Schäfer et al. 2006). Sofern derartige „typische“ Körperhaltungsmuster für

verschiedene Tätigkeitsbilder ableitbar sind, können ggf. auch typische „Zuschläge“ für die Körperhaltungsbewertung bei der Beurteilung der Ganzkörperschwingungen abgeleitet werden.

Eine Adjustierung der Stärke der vorgeschlagenen Körperhaltungsbewertung ist anhand der durchgeführten Messungen und weiterer Messungen allerdings nicht möglich. Diese muss durch epidemiologischen Untersuchungen zu möglichen Rückenbeschwerden bei Fahrtätigkeiten erfolgen. Durch Vergleich unterschiedlicher Fahrtätigkeiten mit unterschiedlichen Körperhaltungen und mit ggf. unterschiedlichen Beschwerdebildern und Beschwerdebildern könnte bei Vorliegen entsprechender Messergebnisse zu Körperhaltungen und Ganzkörperschwingungen das vorgeschlagene Modell entsprechend adjustiert, angepasst bzw. modifiziert werden.

Um eine Normierung auf „normale“ Fahrtätigkeiten, d. h. Fahrtätigkeiten, die üblicherweise keine besonders ungünstigen Körperhaltungen erfordern, durchführen zu können, sind Messungen bei Fahrern von Pkw und Lkw erforderlich. Die Messungen anderer Fahrtätigkeiten mit „ungünstigeren“ Körperhaltungen sind dann mit diesen zu vergleichen.

Die Diskussion um die Einbeziehung der beim Fahren eingenommenen Körperhaltungen bei der Beurteilung von Ganzkörperschwingungen im Sitzen könnte durch die hier vorgestellten und durch weitere ergänzende Messungen gefördert werden. Es wird zu prüfen sein, ob oder ggf. inwieweit der hier vorgeschlagene Ansatz für die Körperhaltungsbewertung weiterentwickelt werden kann.

7. Literatur

- Burdorf A, Naaktgeboren B, de Groot HCWM (1993) Occupational risk factors for low back pain among sedentary workers. *J Occup Med* 35: 1213–1220
- Ditchen D, Ellegast R, Herda C, Hoehne-Hueckstaedt U (2005) Ergonomic intervention on musculoskeletal discomfort among crane operators at waste-to-energy-plants. In: Bust PD, McCabe PT (Hrsg.) *Contemporary Ergonomics 2005*, Taylor & Francis, UK
- Ellegast R (1998) Messsystem zur automatisierten Erfassung von Wirbelsäulenbelastungen bei beruflichen Tätigkeiten. BIA-Report 5/98, Sankt Augustin

Ellegast R, Kupfer J (2000) Portable posture and motion measuring system for use in ergonomic field analysis. In: Landau K. (Hrsg.) Ergonomic Software Tools in Product and Workplace Design, S. 47–54. Ergon Verlag, Stuttgart

Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2002) Richtlinie 2002/44/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Vibrationen) (16. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). Amtsbl Euro Gemeinsch L 177: 13–19

Hinz B, Seidel H, Menzel G, Blüthner R, Gericke L (1999) Biodynamik und Wirbelsäulenbeanspruchung bei Exposition mit praxisrelevanten Ganzkörperschwingungen unter Einsatz realer Fahrersitze. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin Fb 843. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven

Hoy J, Mubarak N, Nelson S, Sweerts de Landas M, Magnusson M, Okunribido O, Pope M (2005) Whole body vibration and posture as risk factors for low back pain among forklift truck drivers. J Sound and Vibration 284: 933–946

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

Osborne DJ, Boarer PA (1982) Subjective response to whole-body vibration. The effects of posture. Ergonomics 23: 673–681

Sandover J, Gardner L, Stroud P, Robertson N (1994) Some epidemiological issues regarding vibration and tractor driving. Proceedings of the United Kingdom Informal Group Meeting on Human Response to Vibration, S. 1–21. Institute of Naval Medicine. Alverstoke. Gosport

Schäfer K, Stein B, Dalichau S (2006) Vermeidung arbeitsbedingter Gesundheitsgefahren und Erkrankungen im Containerumschlag. Zbl Arbeitsmed 56: 91–103

Schwarze S, Nothbohm G, Hartung E, Dupuis H (1998) Auswirkungen von Ganzkörperschwingungen auf die Lendenwirbelsäule. Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 33: 429–442

Seidel H, Blüthner R, Hinz B, Schust M (1995) Belastung der Lendenwirbelsäule durch stoßhaltige Ganzkörperschwingungen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin, Fb 01 HK 061. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft

Tiemessen IJH, Hulshof CTJ, Frings-Dresen MHW (2006) Assessment of vibration and other physical work demands at the work site: A longitudinal study. Proceedings IEA 2006 Congress. Elsevier, Maastricht

van Riel MPJM, Derksen JCM, Burdorf A, Snijders CJ (1995) Simultaneous measurements of posture and movement of head and trunk by continuous three-dimensional registration. Ergonomics 38: 2563–2575

VDI 2057 Blatt 1 (2002) Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen – Ganzkörper-Schwingungen. Beuth Verlag, Berlin

VDI 2057 Blatt 2 (2002) Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen – Hand-Arm-Schwingungen. Beuth Verlag, Berlin

Mehrwert für die Abonnenten: Das Zentralblatt im Internet

Der Dr. Curt Haefner Verlag bietet den Lesern des Zentralblatts mehr als eine wissenschaftliche Fachzeitschrift: Alle Beiträge werden in einer Datenbank gespeichert, die für unsere Abonnenten unter der Rubrik Heftarchiv ohne zusätzliche Kosten zur Verfügung steht. Dank der bequemen Suchfunktion ist das Archiv ein nützliches Werkzeug für die Literaturrecherche.

Darüber hinaus findet sich hier die jeweils aktuelle Ausgabe als E-Paper: Die digitale Ausgabe zum Blättern mit der Möglichkeit einzelne Seiten auszudrucken.

Die Klicks zur Recherche:

1. Registrieren Sie sich mit Ihren Zugangsdaten.
2. Geben Sie den Suchbegriff ein.