

Großhandels- und Lagerei-Berufsgenossenschaft

## Branchenspezifische Ermittlung von Ganzkörpervibrationen: Hilfen für die betriebliche Praxis

Klaus Schäfer, Ralf Schick, Frank Rokosch, Corinna Becker

K. Schäfer, R. Schick, F. Rokosch, C. Becker: Branchenspezifische Ermittlung von Ganzkörpervibrationen: Hilfen für die betriebliche Praxis. *Zbl Arbeitsmed* 57 (2007) 146–157

**Schlüsselwörter:** Gefährdungsbeurteilung – Ganzkörper-Vibrationen – Messungen – Branchenbezug – Lärm- und Vibrations- Arbeitsschutzverordnung

**Zusammenfassung:** Am 9. März 2007 ist die „Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen“ in Kraft getreten. Während für den Bereich Lärm seit mehr als drei Jahrzehnten bereits nationale präventive Regelungen in Form der Unfallverhütungsvorschrift „Lärm“ existieren und somit entsprechende Kenntnisse und praktische Erfahrungen vorhanden sind, wird für den Bereich der Vibrationen zumindest teilweise in der betrieblichen Praxis Neuland betreten. Zwar war im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach Arbeitsschutzgesetz die Exposition gegenüber Vibrationen auch bisher schon zu berücksichtigen, allerdings sind nunmehr konkrete Vorgaben für die Ermittlungen und die zu treffenden Maßnahmen in der Verordnung enthalten.

Für die Beurteilung der Exposition der Beschäftigten gegenüber Vibrationen müssen Informationen zur Höhe der auftretenden Vibrationen in Erfahrung gebracht werden. Hierzu können beispielsweise Angaben der Hersteller oder Inverkehrbringer genutzt werden oder es kann auf Fachpublikationen und Datenbanken zurückgegriffen werden. Im Einzelfall ist dann zu beurteilen, ob die erhaltenen Angaben auch auf die jeweilige betriebliche Situation, die Einsatzbedingungen und Einsatzdauern übertragen werden können. Hierfür ist in der Regel entsprechendes Fachwissen erforderlich.

Um den Betrieben bei der Abschätzung der Vibrationsexposition Hilfestellungen geben zu können, wurden durch die Großhandels- und Lagerei-Berufsgenossenschaft in den letzten Jahren verstärkt Messungen zur Exposition gegenüber Ganzkörpervibrationen durchgeführt. Die Messwerte wurden zusammen mit den genauen Beschreibungen der Messbedingungen in einer Datenbank zusammengeführt. Im Rahmen von Datenbankauswertungen hat sich gezeigt, dass innerhalb einer Branche die Einsatzbedingungen der Fahrzeuge durchaus ähnlich sind, so dass allgemeingültige Aussagen zur Höhe der Vibrationsexposition möglich sein sollten.

Durch gezielte branchenspezifische Messreihen wurden daraufhin repräsentative Arbeitsabläufe erfasst und beschrieben sowie die zugehörigen Vibrationsexpositionen bestimmt. Die geringe Streuung der ermittelten Tages-Vibrationsexpositionswerte erlaubt unter Berücksichtigung der jeweiligen betrieblichen Verhältnisse eine gute Abschätzung der Vibrationsexposition der Beschäftigten. Die Durchführung branchenspezifischer Messreihen und branchenspezifischer Auswertungen von Datenbanken können daher für die Beurteilung der Vibrationsexposition in der betrieblichen Praxis von besonderem Nutzen sein.

### Investigations of whole-body vibrations for specific industry branches: assistance for the workplace practice

K. Schäfer, R. Schick, F. Rokosch, C. Becker: Investigations of whole-body vibrations for specific industry branches: assistance for the workplace practice. *Zbl Arbeitsmed* 57 (2007) 146–157

### Investigation des vibrations du corps entier pour des branches spécifiques de l'industrie: assistance pour la pratique en entreprise

K. Schäfer, R. Schick, F. Rokosch, C. Becker: Investigation des vibrations du corps entier pour des branches spécifiques de l'industrie: assistance pour la pratique en entreprise. *Zbl Arbeitsmed* 57 (2007) 146–157

Anschrift der Autoren:

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

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

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

Corinna Becker  
Großhandels- und Lagerei-Berufsgenossenschaft ■ 68145 Mannheim ■ BeckerC@grolabg.de

**Key words:** Hazard assessment – whole-body vibrations – measurements – branch specific – noise and vibration workplace safety ordinance

**Summary:** On March 9, 2007, the “Ordinance for the Protection Against the Hazards of Noise and Vibration at the Workplace” came into effect. Federal preventive noise regulations have existed for over three decades for the protection of injury caused by “noise”. Although these have provided much knowledge and practical experience, the area of vibration represents, at least as applied to the workplace, the breaking of new ground. Whereas in the past, the Occupational Safety and Health Act did in fact stipulate the assessment of exposure to vibrations, the guidelines for the assessment and the measures to be undertaken are more specific in the new regulations. Before the hazards presented by vibrations to employees’ health can be ascertained, the specific levels of the vibrations must be determined. Possible sources of valuable input for this information could be information provided by manufacturers and companies that sell such products. Other potential sources may be trade publications and databases. In each case, the information obtained must be evaluated as to its applicability to the specific situation, conditions of application and specific duration. Qualified knowledge and experience is required to properly evaluate this applicability. In an effort to provide companies with assistance in the assessment of the hazards of vibration, the Institution for statutory accident insurance and prevention in the wholesale trade and warehousing industry (GroLa BG) has over the last few years performed extensive tests to measure whole-body vibration. The test results were compiled in a database with precise descriptions of the test conditions. The analyses of the information provided by the database showed that the vehicle operating conditions were similar throughout specific branches, so that it should be possible to make general conclusions about the hazards of exposure to vibration. Series of branch-specific measurements performed yielded information about typical work processes, descriptions and the respective exposure to vibration. The limited spread of the data for the daily exposure to vibration made it possible to make a fairly accurate estimate of employees’ exposure to vibration for the respective occupational conditions. Thus, it can be assumed that the performance of branch-specific series of measurements/tests and branch-specific evaluations of databases can be especially useful in evaluating the hazards of exposure to evaluation in the workplace.

**Mots clé:** Evaluation de la dangerosité – vibrations du corps entier – mesures – spécifique à la branche – ordonnance sur la protection des travailleurs contre le bruit et les vibrations

**Résumé:** Le 9 mars 2007, l’“ordonnance sur la protection des salariés contre les dangers découlant du bruit et des vibrations” est entrée en vigueur. Tandis qu’il existe, depuis plus de trente ans déjà, des réglementations nationales de prévention pour la protection contre le bruit sous la forme de la prescription pour la prévention des accidents „Bruit“ et qu’on dispose en conséquence d’un savoir correspondant et d’expériences pratiques dans ce domaine, celui des vibrations en revanche est tout nouveau, en partie du moins, dans la pratique de la médecine d’entreprise. Certes, l’exposition aux vibrations devait être également prise en compte jusqu’ici dans l’évaluation de la dangerosité en vertu de la loi sur la protection des travailleurs, mais l’ordonnance comprend désormais des critères concrets pour les investigations et les mesures à prendre.

Pour évaluer l’exposition des salariés aux vibrations, il faut obtenir des informations concernant l’importance des vibrations qui se produisent. Pour cela, il est possible par exemple d’utiliser les indications du constructeur ou du distributeur ou encore d’avoir recours à des publications spécialisées ainsi qu’à des bases de données. Il faut ensuite apprécier, cas par cas, si les informations obtenues peuvent être appliquées à la situation respective en entreprise, aux conditions d’utilisation ainsi qu’aux durées d’utilisation. Pour cela, des connaissances spécialisées correspondantes sont en général nécessaires.

Afin de pouvoir aider les entreprises à évaluer l’exposition aux vibrations de leurs salariés, les caisses d’assurance mutuelle des entreprises de commerce de gros et d’emmagasina-ge ont fait réaliser au cours des dernières années un plus grand nombre de mesures afin de définir l’exposition aux vibrations du corps entier. Les valeurs mesurées ont été regroupées avec les descriptions précises des conditions de mesure dans une base de données. Dans le cadre des évaluations des bases de données, il s’est avéré qu’au sein d’une branche, les conditions d’utilisation des véhicules étaient parfaitement identiques, ce qui permettait des assertions généralement valables concernant l’importance de l’exposition aux vibrations.

Des séries de mesures spécifiques aux branches ont permis de recueillir des informations et des descriptions de divers processus de travail représentatifs puis de définir les expositions aux vibrations correspondantes. La faible dispersion des valeurs d’exposition quotidiennes aux vibrations déterminées autorise, tout en tenant compte des conditions respectives au sein de l’entreprise, une bonne évaluation de l’exposition aux vibrations des salariés. La réalisation de séries de mesures spécifiques aux branches ainsi que les évaluations des bases de données peuvent par conséquent être particulièrement utiles pour estimer l’exposition aux vibrations dans la pratique de l’entreprise.

## 1. Einleitung

Vibrationen, die synonym auch als Schwingungen bezeichnet werden, wirken auf Beschäftigte bei vielfältigen Tätigkeiten während der Arbeit ein. Generell unterscheidet man – je nach Art der Einwirkung – in Hand-Arm-Vibrationen und in Ganzkörpervibrationen. Hand-Arm-Vibrationen werden bei handgehaltenen Arbeitsgeräten über die Hände, Ganzkörpervibrationen bei sitzenden Tätigkeiten über das Gesäß und bei stehenden Tätigkeiten über die Füße in den Körper eingeleitet.

Zum Schutz der Arbeitnehmer vor möglichen negativen Wirkungen einwirkender Hand-Arm- und Ganzkörper-Vibrationen wurde auf europäischer Ebene im Jahr 2002 die Richtlinie „Vibrationen“ verabschiedet und am 6. Juli 2002 im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften veröffentlicht (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 2002). Die nationale Umsetzung in Deutschland erfolgte nunmehr durch die „Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen“ (Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Hrsg. 2007). Mit dieser Verordnung wurde neben der Richtlinie „Vibrationen“ auch die Richtlinie „Lärm“ in nationales Recht umgesetzt (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, Hrsg. 2003). Durch die Verordnung werden Mindestanforderungen für den Schutz der Arbeitnehmer vor tatsächlichen oder möglichen Gefährdungen ihrer Gesundheit und Sicherheit durch die Einwirkung von Lärm und Vibrationen bei der Arbeit festgelegt.

Für den Bereich der Vibrationen enthält die Verordnung Auslösewerte und Expositionsgrenzwerte, bei deren Erreichen oder Überschreiten bestimmte Maßnahmen einzuleiten sind. Sowohl bei den Auslösewerten als auch bei den Expositionsgrenzwerten handelt es sich um Mittelwerte für einen Arbeitstag. Dieser Acht-Stunden-Mittelwert wird in der Verordnung als Tages-Vibrationsexpositionswert  $A(8)$  bezeichnet. Er entspricht der in der Normung verwendeten Beurteilungsbeschleunigung  $a_{w(8)}$

(VDI 2057 Blatt 1 2002, ISO 2631–1 1997).

Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach § 5 des Arbeitsschutzgesetzes (Bundestag und Bundesrat 1996) obliegt dem Unternehmer die Ermittlung der Vibrationsexposition der Beschäftigten. Hierzu ist es erforderlich, sowohl die Höhe der Vibrationseinwirkung beim Bedienen der Geräte oder Fahrzeuge als auch die täglichen Bedien- bzw. Fahrdauern in Erfahrung zu bringen. Aus der Expositionshöhe und der Expositionsdauer lässt sich dann der Tages-Vibrationsexpositionswert  $A(8)$  errechnen. Während die Bedien- bzw. Fahrdauern noch mit mehr oder weniger einfachen Mitteln durch den Unternehmer erfasst werden können, wie beispielsweise über die Auswertung von Betriebsstundenzählern oder Fahrleistungen, erfordert die Ermittlung der Höhe der einwirkenden Vibrationen deutlich mehr Aufwand und insbesondere auch spezielle Fachkenntnisse.

Um den Unternehmen bei der nunmehr anstehenden Umsetzung der Verordnung auch Hilfen hinsichtlich der Einwirkung von Vibrationen geben zu können, wurden und werden durch die Großhandels- und Lagerei-Berufsgenossenschaft (GroLa BG) Messungen zur Höhe der Vibrationsexposition und Ermittlungen zur Expositionsdauer durchgeführt. Hierbei liegt wegen der betrieblichen Verhältnisse in den Mitgliedsbetrieben der GroLa BG der Schwerpunkt auf Messungen von Ganzkörper-Vibrationen im Sitzen, auf die im Folgenden ausschließlich eingegangen werden soll.

## 2. Bewertung der Exposition gegenüber Ganzkörpervibrationen

Für die Bewertung von Ganzkörpervibrationen sind die einwirkenden Vibrationen in allen drei Raumrichtungen (x-, y- und z-Achse) auf dem Sitz zu erfassen. Nach ISO 2631–1 (1997) wird das Koordinatensystem auf den sitzenden Menschen bezogen. Die drei orthogonalen Raumachsen sind dabei wie folgt festgelegt: als x-Achse wird die horizontale Achse in Richtung „Brust-Rücken“, als y-Achse die horizontale Achse in Richtung „Schulter-Schulter“ und als z-Achse die vertikale Achse bezeichnet.

Als Kenngröße für die Bewertung der im Sitzen einwirkenden Ganzkörpervibrationen werden die Beschleunigungen in den drei Raumachsen auf dem Sitz zwischen Sitzfläche und Gesäß des Fahrers mit einer entsprechenden Messscheibe erfasst. Da die Beanspruchung des menschlichen Organismus nicht nur von der Höhe der einwirkenden Vibrationen sondern auch von deren Frequenzzusammensetzung abhängt, werden die einwirkenden Beschleunigungen in allen drei Raumachsen frequenzbewertet. Hierbei ist nach ISO 2631–1 (1997) für die horizontalen Achsen eine andere Frequenzbewertung vorzunehmen als für die vertikale Achse. Die frequenzbewerteten Beschleunigungen werden üblicherweise über die Messdauer gemittelt und als energieäquivalente Mittelwerte  $a_{we}$  angegeben. Bei der Messdauer ist darauf zu achten, dass die messtechnisch erfassten Fahrtätigkeiten auch als repräsentativ für die zu beurteilenden Tätigkeiten anzusehen sind. Die „repräsentativen“ Mittelwerte stellen dann die Maßzahl für die Höhe der Vibrationseinwirkung dar.

Neben der Höhe der Vibrationseinwirkung ist für die Beurteilung der Vibrationsexposition aber auch die Dauer der Vibrationseinwirkung maßgebend. Zur Beurteilung der Gesamtbelastung für einen Arbeitstag durch die Einwirkung von Ganzkörper-Vibrationen werden daher der Mittelwert der frequenzbewerteten Beschleunigung  $a_{we}$  und die Einwirkdauer  $T_e$  gemäß nachfolgender Gleichung miteinander verknüpft:

$$A(8) = a_{w(8)} = a_{we} \cdot \sqrt{\frac{T_e}{8h}}$$

$A(8)$ : Tages-Vibrationsexpositionswert [ $m/s^2$ ]

$a_{w(8)}$ : Beurteilungsbeschleunigung [ $m/s^2$ ]

$a_{we}$ : frequenzbewertete Beschleunigung [ $m/s^2$ ]

$T_e$ : Expositionsdauer [h]

Die resultierende Größe heißt nach der Normung Beurteilungsbeschleunigung  $a_{w(8)}$  (VDI 2057 Blatt 1, 2002). Der

in der Verordnung genannte Tages-Vibrationsexpositionswert  $A(8)$  ist mit der Beurteilungsbeschleunigung identisch.

Liegen pro Arbeitstag mehrere Belastungsabschnitte mit unterschiedlichen Mittelwerten der frequenzbewerteten Beschleunigung  $a_{we,i}$  und unterschiedlichen Expositionsdauern  $T_i$  vor, so berechnet sich der Tages-Vibrationsexpositionswert  $A(8)$  wie folgt:

$$A(8) = a_{w(8)} = \sqrt{\frac{1}{8h} \cdot \sum_{i=1}^N a_{we,i}^2 \cdot T_i}$$

$A(8)$ : Tages-Vibrationsexpositionswert [ $\text{m/s}^2$ ]

$a_{w(8)}$ : Beurteilungsbeschleunigung [ $\text{m/s}^2$ ]

$a_{we,i}$ : frequenzbewertete Beschleunigung des i-ten Belastungsabschnittes [ $\text{m/s}^2$ ]

$T_i$ : Expositionsdauer des i-ten Belastungsabschnittes[h]

Bei Vibrationen, die gleichzeitig in mehreren Richtungen einwirken, ist die Richtung mit der größten frequenzbewerteten Beschleunigung zur Beurteilung der gesundheitlichen Gefährdung heranzuziehen. Hierbei ist zu beachten, dass für die Beurteilung der Gesundheitsgefährdung die horizontalen Beschleunigungen  $a_{wxe}$  und  $a_{wye}$  mit dem Korrekturfaktor  $k=1,4$  und die vertikalen Beschleunigungen  $a_{wze}$  mit dem Korrekturfaktor  $k=1,0$  zu multiplizieren sind.

Der gemäß o.g. Vorgaben bestimmte Tages-Vibrationsexpositionswert  $A(8)$  ist mit den in der Verordnung genannten Expositionsgrenzwerten von  $A(8) = 1,15 \text{ m/s}^2$  für die x- und y-Richtung sowie  $A(8)=0,8 \text{ m/s}^2$  für die z-Richtung und dem Auslösewert von  $A(8)=0,5 \text{ m/s}^2$ , der für alle drei Richtungen gültig ist, zu vergleichen.

Wird der Auslösewert von  $A(8)=0,5 \text{ m/s}^2$  erreicht oder überschritten, sind die Beschäftigten über mögliche Gefährdungen durch die Exposition gegenüber Vibrationen zu unterweisen. Bei Überschreiten des vorgenannten Auslösewertes ist außerdem sicherzustellen, dass die Beschäftigten eine allgemeine arbeitsmedizinische Beratung erhalten.

Den Beschäftigten sind ferner arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen anzubieten. Schließlich ist ein Programm mit technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Verringerung der Vibrationsexposition auszuarbeiten und durchzuführen.

Werden die Grenzwerte von  $A(8)=1,15 \text{ m/s}^2$  für die horizontalen Achsen und  $A(8)=0,8 \text{ m/s}^2$  für die vertikale Achse erreicht oder überschritten, sind für die Beschäftigten regelmäßige arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen zu veranlassen. Das Überschreiten der Expositionsgrenzwerte ist generell zu vermeiden. Sollten die Expositionsgrenzwerte dennoch überschritten werden, sind vom Unternehmer unverzüglich die Gründe hierfür zu ermitteln und Maßnahmen zu ergreifen, um die Vibrationsexposition derart zu reduzieren, dass die Expositionsgrenzwerte wieder eingehalten werden.

### 3. Motivation für branchenbezogene Vibrationsmessungen

Die Höhe der Vibrationseinwirkung beim Fahren von Arbeitsmaschinen und Fahrzeugen ist von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängig. Zu diesen Faktoren zählen insbesondere die Art und Ausstattung des Fahrzeuges, die Fahrbahnverhältnisse und die speziellen Einsatzbedingungen. Verallgemeinernd lässt sich sagen, dass für eine bestimmte Fahrzeugart die Vibrationseinwirkung auf den Fahrer umso größer ist, je holpriger die Fahrbahn und je höher die Fahrgeschwindigkeit ist. Daher können üblicherweise für ganze Fahrzeuggruppen, wie beispielsweise für Gabelstapler, Lkw oder Bagger, ohne genauere Spezifizierung der Fahrbahn- und Einsatzbedingungen nur sehr weite Bereiche für die Höhe der Vibrationsexposition beim Fahren dieser Fahrzeuge angegeben werden (z.B. Christ et al. 2006).

Insbesondere bei der Fahrzeuggruppe der Gabelstapler ist der Variationsbereich für die Höhe der Vibrationseinwirkung aufgrund unterschiedlicher Bauarten, fehlender Fahrzeugfederung, unterschiedlicher Sitze und verschiedenster Einsatzbedingungen besonders hoch (Kany & Schäfer 2003). Bei Christ et al. (2006) wird daher auch für die

Fahrzeuggruppe der Gabel-, Gelände- und Querstapler ein großer Bereich von etwa  $0,1$  bis zu  $2,2 \text{ m/s}^2$  für die frequenzbewerteten Beschleunigungen in der vertikalen z-Achse genannt.

Da gerade in den Mitgliedsbetrieben der GroLa BG sehr häufig Gabelstapler für den innerbetrieblichen Warentransport im Einsatz sind, wurden Wege gesucht, um über allgemeine und daher sehr große Bereichsangaben zur Höhe der Vibrationsexposition hinaus genauere, spezielle arbeits- und tätigkeitsbezogene Werte für den konkreten Einzelfall angeben zu können. Hierzu wurde die Annahme gemacht, dass die Gabelstapler innerhalb einer Branche ähnliche Funktionen erfüllen und dass die Betriebs- und Fahrbahnverhältnisse innerhalb einer Branche zwar nicht gleich, aber zumindest vergleichbar sind. Ferner wurde unterstellt, dass auch die jeweiligen Fahrdauern in einer vergleichbaren Größenordnung liegen.

Aufbauend auf dieser Arbeitshypothese wurden branchenspezifische Messungen zur Erfassung von Ganzkörper-Vibrationen beim Fahren von Gabelstaplern durchgeführt. Hierbei wurden die auszuführenden Tätigkeiten der Gabelstapler-Fahrer möglichst umfassend erfasst und dokumentiert. Daneben wurden auch Messungen auf anderen Fahrzeugarten in unterschiedlichen Branchen vorgenommen. Nachfolgend werden die bisherigen Ergebnisse beispielhaft für Gabelstapler-Fahrer im Baustoffgroßhandel, für Portalstapler- und Portalkran-Fahrer in Hafenumschlagsunternehmen und für Mobilbagger-Fahrer im Schrottgroßhandel vorgestellt. Dabei werden jeweils zuerst die vorgefundenen Arbeitsverhältnisse und Tätigkeiten beschrieben und im Anschluss die Messergebnisse präsentiert. Schließlich werden die bisherigen Ergebnisse und Erfahrungen diskutiert sowie Vorgehensweise abgeleitet.

## 4. Gabelstapler-Fahrer im Baustoffgroßhandel

### 4.1 Tätigkeitsbeschreibung

Im Baustoffgroßhandel werden die von Produzenten, Importeuren und sonstigen Lieferanten angelieferten

Baustoffe paletten- oder stückweise oder auch als Schüttgut zwischengelagert und an Bauunternehmen und Privatkunden ausgeliefert oder von diesen abgeholt. Typische betriebliche Verhältnisse sind in Abbildung 1 dargestellt.

Das Betriebsgelände besteht üblicherweise aus einem größeren Freigelände und einer oder mehrerer Hallen. Die Baustoffe werden in Paletten- oder Kragarmregalen oder auch ebenerdig gelagert. In den Lagerhallen besteht die Fahrbahnoberfläche in der Regel aus einem ebenen Betonboden oder aus Betonplatten. Bei den Betonplatten können durch ausgebrochene Ränder oder durch Höhenunterschiede der Platten an den Fugen auch leichte bis größere Unebenheiten auftreten. Die Fahrbahnoberflächen auf dem Freigelände bestehen entweder aus Asphalt, Verbundsteinpflaster, Betonplatten oder im ungünstigsten Fall aus unbefestigtem Untergrund. Häufig ist auch eine Kombination von zwei, drei oder allen vier genannten Fahrbahnoberflächen vorzufinden. Zwischen den Hallen und dem Freigelände sowie zwischen den verschiedenen Fahrbahnoberflächen sind oftmals kleinere Höhenunterschiede vorhanden. Weitere Unebenheiten stellen Kanaldeckel, Gullydeckel, Regenablauftrinnen oder Fahrbahnausbrüche dar.

Die Entladung der ankommenden palettierten Waren von den Lkw, der innerbetriebliche Warentransport zum Lagerplatz sowie die Beladung von Lkw mit palettierten Waren erfolgt mit Hilfe von Gabelstaplern. Neben dem Transport ganzer Paletten werden von den Gabelstapler-Fahrern auch Kundenaufträge kommissioniert und Pkw beladen. Bei der Kommissionierung werden Baustoffe für die Auslieferung bzw. für die Abholung zusammengestellt. Der Gabelstapler-Fahrer fährt hierzu zu dem jeweiligen Lagerplatz der zu kommissionierenden Ware, steigt vom Gabelstapler ab und legt die erforderliche Anzahl der betreffenden Waren von Hand auf eine mitgeführte Palette. Ist der Kundenauftrag abgearbeitet oder die Palette voll, wird diese entweder zwischengelagert oder auf die schon bereitstehenden Lkw und Pkw verladen. Während Lkw üblicherweise palettenweise beladen werden, er-

folgt die Beladung des Kofferraums oder Anhängers der Pkw einzeln von Hand. Neben diesen Haupttätigkeiten werden bei geringerem Arbeitsaufkommen von den Gabelstapler-Fahrern auch Waren sortiert und umgelagert und leere Lagerplätze wieder aufgefüllt.

#### 4.2 Messergebnisse

Die Messungen wurden mit Ausnahme zweier Messungen im Rahmen einer Messreihe in den Jahren 2004 und 2005 durchgeführt. Bei den messtechnisch erfassten Gabelstaplern handelte es sich um Gabelstapler unterschiedlicher Hersteller mit Tragfähigkeiten zwischen 1,5 und 3,5 Tonnen. Insgesamt wurden 26 Gabelstapler der Baujahre 1988 bis 2003 messtechnisch erfasst. Als Antriebsart kamen überwiegend Gabelstapler mit Dieselmotoren zum Einsatz, lediglich 5 der 26 messtechnisch erfassten Fahrzeuge hatten einen Elektroantrieb. Die Messdauern je Einzelmessung lagen im Bereich von 35 bis 144 Minuten. Die gesamte Messdauer betrug etwa 37 Stunden. Die Mittelwerte der Einzelmessungen lagen – unter Berücksichtigung des jeweils höchsten frequenzbewerteten Beschleunigungswertes der drei Achsen auf dem Sitz – im Bereich von  $a_{we}=0,28 \text{ m/s}^2$  bis zu  $a_{we}=0,62 \text{ m/s}^2$ . Das Verhältnis von größtem zu kleinstem Messwert beträgt demnach etwa 2:1.

Neben den Messungen wurde außerdem die tägliche Einsatz- bzw. Fahrdauer der Gabelstapler ermittelt. Hierzu wurden die Betriebsstundenzähler der Gabelstapler ausgewertet. Die mittlere Betriebsdauer pro Arbeitstag liegt danach im Bereich von etwa 3½ Stunden mit Variationen von etwa einer bis zu 6½ Stunden.

Aus den gemessenen Mittelwerten der frequenzbewerteten Beschleunigungen und den korrespondierenden täglichen Fahrdauern wurden die zugehörigen Tages-Vibrationsexpositionswerte  $A(8)$  berechnet. In Abbildung 2 ist die Häufigkeitsverteilung der Tages-Vibrationsexpositionswerte aller 26 Messungen grafisch dargestellt.

Nach Abbildung 2 ergibt sich für vier Messungen ein Tages-Vibrationsexpositionswert im Bereich von 0,1 bis 0,19



Abbildung 1: Gabelstapler-Fahrer im Baustoffgroßhandel beim Beladen eines Lkw. Im Vordergrund ist das Außenlager mit Lagerung auf dem Boden und in Regalsystemen zu sehen. Im Hintergrund befinden sich Lagerhallen.

Figure 1: Forklift operator in a wholesale construction materials operation loading a truck. An outdoor storage facility with ground and racking storage systems is visible in the foreground. Warehouses are in the background.

Illustration 1: Conducteur de chariot élévateur à fourche dans le commerce de gros de matériaux de construction lors du chargement d'un camion. Un entrepôt extérieur avec emmagasinage au sol et en rayons est visible au premier plan. Entrepôts de marchandises à l'arrière-plan.

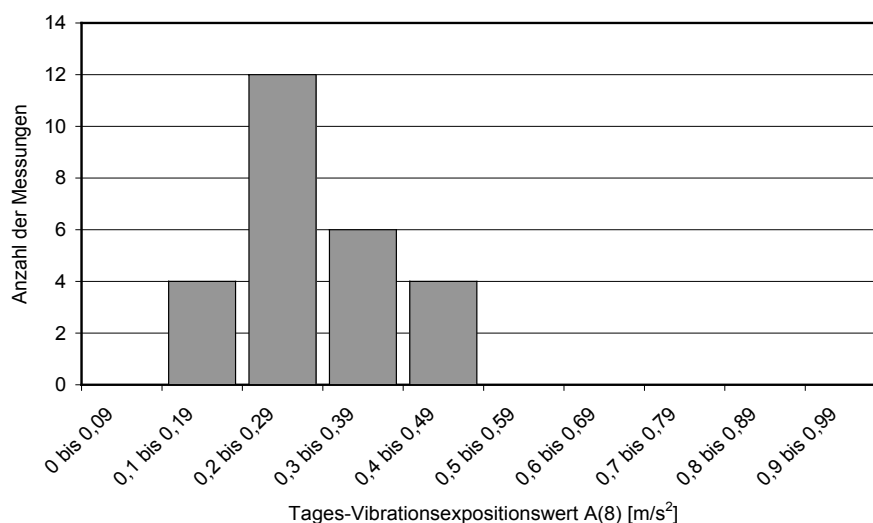


Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung des Tages-Vibrationsexpositionswertes  $A(8)$  für die messtechnisch erfassten Gabelstapler-Fahrer im Baustoffgroßhandel.

Figure 2: Frequency distribution of the daily exposure to vibration  $A(8)$  obtained for the tested forklift operator in the wholesale construction materials operation.

Illustration 2: Distribution de fréquence de la valeur d'exposition quotidienne aux vibrations  $A(8)$  pour les conducteurs de chariot élévateur à fourche testés dans le commerce de gros des matériaux de construction.

$\text{m/s}^2$ , für zwölf Messungen im Bereich von 0,2 bis  $0,29 \text{ m/s}^2$ , für sechs Messungen im Bereich von 0,3 bis  $0,39 \text{ m/s}^2$  und für vier Messungen im Bereich von 0,4 bis  $0,49 \text{ m/s}^2$ . Der kleinste errechnete Tages-Vibrationsexpositionswert beträgt  $A(8)=0,13 \text{ m/s}^2$  und die größte  $0,46 \text{ m/s}^2$ . Der Mittelwert beträgt  $A(8)=0,29\pm0,09 \text{ m/s}^2$ .

Die ermittelten Tages-Vibrationsexpositionswerte liegen somit unter den während der Messungen vorgefundenen Bedingungen und den betrieblichen Verhältnissen unterhalb des Auslösewertes von  $A(8)=0,5 \text{ m/s}^2$ . Weitere Maßnahmen zur Reduzierung der Vibrationsexposition der Gabelstapler-Fahrer sind unter den während der Messdauern vorgefundenen Rahmenbedingungen demzufolge im Allgemeinen nicht erforderlich.

## 5. Portalkran- und Portalstapler-Fahrer in Hafenumschlagsunternehmen

### 5.1 Tätigkeitsbeschreibung

Heutzutage werden Waren im internationalen Verkehr überwiegend in Containern auf sogenannten Containerschiffen transportiert. Die neueste Generation der Containerschiffe erlaubt mittlerweile den Transport von bis zu 11.000 TEU

(Twenty-Foot Equivalent Units, d.h. 20-Fuß-Container). An Land werden die Container auf Lkw oder auf Bahnwaggons weitertransportiert. Die Be- und Entladung der Containerschiffe, die Zwischenlagerung und die Weiterverladung auf Lkw und Bahnwaggons geschieht in den Hafenumschlagsunternehmen. Die Be- und Entladung der Schiffe erfolgt durch Portalkrane, der innerbetriebliche Transport und die Verladung auf Lkw und Bahnwaggons üblicherweise durch Portalstapler. Einen Überblick über die Betriebsverhältnisse gibt Abbildung 3.

Die Fahrer der Portalkrane sitzen in einer verglasten Kanzel, die sich bei neuen Portalkranen in einer Höhe von etwa 40 Metern über der Kaifläche befindet und an der Laufkatze des Krans befestigt ist. Die Fahrer steuern von hier aus alle Fahrbewegungen des Krans einschließlich der Bewegungen des an Seilen hängenden Tragemittels zur Aufnahme und zum Transport der Container. Die Tätigkeit erfordert ein hohes Maß an Konzentration, da bei der Aufnahme der Container diese formschlüssig an den vier Ecken mit dem Tragemittel verbunden werden müssen. Nach der Verriegelung des Tragemittels am Container wird die-

ser angehoben und vom Schiff an Land bzw. von Land zum Schiff transportiert und wieder abgesetzt. Pro Stunde werden pro Portalkran je nach Arbeitsaufkommen über 30 Container aufgenommen, transportiert und wieder abgesetzt.

Für den innerbetrieblichen Weitertransport an Land werden üblicherweise Portalstapler eingesetzt. Hiermit werden die Container von den Portalkranen zu den Lagerflächen und zurück transportiert sowie auf Lkw und Bahnwaggons verladen bzw. von diesen entladen. Die Portalstapler sind bis zu 15 Meter hoch und können bis zu vier Container übereinander stapeln. Die Aufnahme der Container erfolgt wie bei den Portalkranen ebenfalls über Tragemittel, die an den vier Ecken des Containers formschlüssig verbunden werden. Der Fahrer sitzt in einer verglasten Kanzel, die am Fahrzeug in Fahrtrichtung oben rechts oder links angebracht ist. Um einen Container aufzunehmen, fährt er mit dem Portalstapler über den Container, setzt das Tragemittel auf dem Container ab, verriegelt das Tragemittel mit dem Container und hebt diesen an. Die Fahrbahnverhältnisse auf den Betriebsgeländen sind sehr unterschiedlich. So besteht die Fahrbahn zum Teil aus Asphalt, aus Betonplatten oder auch aus Verbundpflaster. Üblicherweise sind auch Schienen auf dem Betriebsgelände verlegt, die teilweise auch die Verkehrswege der Portalstapler kreuzen. Aufgrund der hohen Gewichte der Fahrzeuge und der transportierten Container werden die Flächen stark beansprucht, so dass eine ständige Instandhaltung erforderlich ist.

### 5.2 Messergebnisse Portalkrane

Es wurden insgesamt 27 unterschiedliche Portalkrane mit Baujahren zwischen 1976 und 2006 messtechnisch erfasst. Die Messungen wurden im Rahmen von Einzelmessungen in verschiedenen Mitgliedsbetrieben in den Jahren 2000 bis 2006 durchgeführt. Die Messdauern der Einzelmessungen lagen im Bereich von 28 bis 113 Minuten, die gesamte Messdauer betrug insgesamt etwa 30 Stunden.

Die Messwerte der frequenzbewerten Beschleunigung liegen – unter Berücksichtigung des jeweils höchsten fre-



Abbildung 3: Be- und Entladung von Containerschiffen durch Portalkrane und Portalstapler. Im Hintergrund sind Portalkrane bei der Be- und Entladung eines Containerschiffes zu sehen. Den Weitertransport auf dem Betriebsgelände übernehmen die Portalstapler.

Figure 3: Loading and unloading of container ships by portal cranes and portal stackers. Portal cranes are visible loading and unloading container ships in the background. Portal stackers handle the further transport in the yard.

Illustration 3: Chargement et déchargement de navires porte-conteneurs par des grues portiques et des chariots-cavaliers. A l'arrière-plan, des grues portiques chargent et déchargent un navire porte-conteneurs. Des chariots-cavaliers transportent ensuite la marchandise sur l'aire de l'entreprise.

quenzbewerteten Beschleunigungswertes der drei Achsen – im Bereich von  $a_{we}=0,15 \text{ m/s}^2$  bis  $a_{we}=0,54 \text{ m/s}^2$ . Das Verhältnis von größter zu kleinster frequenzbewerteten Beschleunigung beträgt demnach etwa  $3\frac{1}{2}:1$ .

Die täglichen reinen Fahrdauern liegen üblicherweise bei etwa vier Stunden. Die Fahrer werden danach beispielsweise als Einweiser eingesetzt. Hieraus resultieren Tages-Vibrationsexpositionswerte von  $A(8)=0,11$  bis  $0,38 \text{ m/s}^2$ . Die Häufigkeitsverteilung der Tages-Vibrationsexpositionswerte aller 27 Einzelmessungen sind in Abbildung 4 grafisch dargestellt.

Nach Abbildung 4 ergeben sich für elf Messungen Tages-Vibrationsexpositionswerte im Bereich von  $0,1$  bis  $0,19 \text{ m/s}^2$ , für zwölf Messungen Tages-Vibrationsexpositionswerte im Bereich von  $0,2$  bis  $0,29 \text{ m/s}^2$  und für vier Messungen Tages-Vibrationsexpositionswerte im Bereich von  $0,3$  bis  $0,39 \text{ m/s}^2$ . Der Mittelwert des Tages-Vibrationsexpositionswertes aller Messungen beträgt  $A(8)=0,22\pm0,07 \text{ m/s}^2$ .

Somit sind für die Fahrer der Portalcrane unter den im Rahmen der Messungen vorgefundenen Arbeitsbedingungen keine weiteren Maßnahmen zur Reduktion der Vibrationsexposition erforderlich.

### 5.3 Messergebnisse Portalstapler

Zwischen 1994 und 2004 wurden Vibrationsmessungen auf insgesamt 26 Portalstaplern durchgeführt, deren Baujahre im Bereich zwischen 1981 und 2004 lagen. Die gesamte Messdauer betrug etwa 37 Stunden, die Dauer der Einzelmessungen lag im Bereich von 29 bis 159 Minuten.

Die Messwerte der frequenzbewerteten Beschleunigung liegen – unter Berücksichtigung des jeweils höchsten frequenzbewerteten Beschleunigungswertes der drei Achsen – im Bereich von  $a_{we}=0,25 \text{ m/s}^2$  bis  $a_{we}=0,60 \text{ m/s}^2$ . Das Verhältnis vom größten gemessenen Mittelwert zum kleinsten gemessenen Mittelwert liegt somit bei etwa  $2\frac{1}{2}:1$ .

Die täglichen reinen Lenkzeiten liegen üblicherweise im Bereich von etwa sechs Stunden. Hieraus resultieren Tages-Vibrationsexpositionswerte von

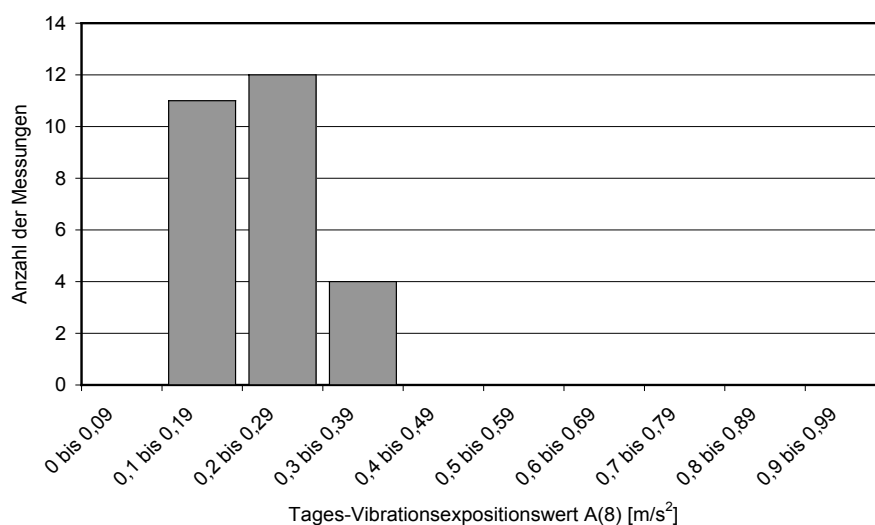


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung des Tages-Vibrationsexpositionswertes  $A(8)$  für die messtechnisch erfassten Portalkran-Fahrer in Hafenumschlagsunternehmen.

Figure 4: Frequency distribution of the daily exposure to vibration  $A(8)$  obtained for the tested portal crane operator in the port handling yard.

Illustration 4: Distribution de fréquence de la valeur d'exposition quotidienne aux vibrations  $A(8)$  pour les conducteurs de grue portique testés dans une entreprise de transbordement portuaire.

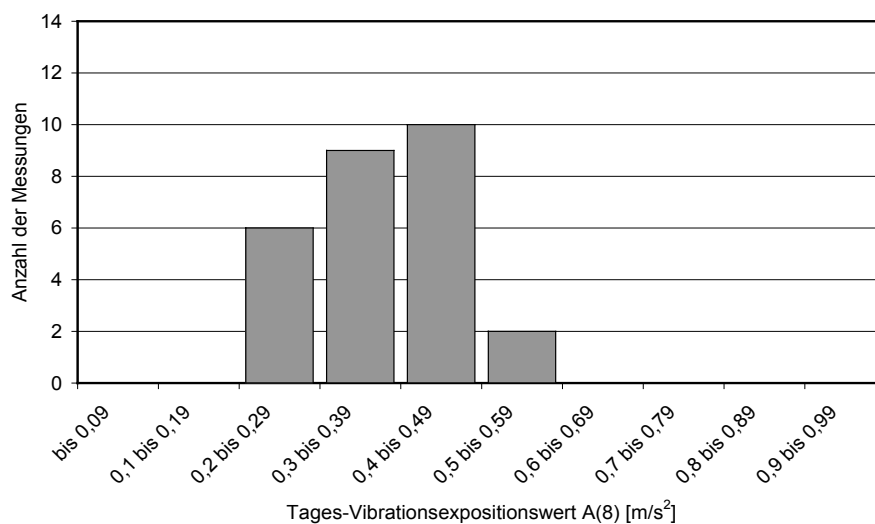


Abbildung 5: Häufigkeitsverteilung des Tages-Vibrationsexpositionswertes  $A(8)$  für die messtechnisch erfassten Portalstapler-Fahrer in Hafenumschlagsunternehmen.

Figure 5: Frequency distribution of the daily exposure to vibration  $A(8)$  obtained for the tested portal stacker operator in the port handling yard.

Illustration 5: Distribution de fréquence de la valeur d'exposition quotidienne aux vibrations  $A(8)$  pour les conducteurs de chariot-cavalier testés dans une entreprise de transbordement portuaire.

$A(8)=0,22$  bis  $0,52 \text{ m/s}^2$ . Die Häufigkeitsverteilung der Tages-Vibrationsexpositionswerte der 26 Messungen sind in Abbildung 5 grafisch dargestellt.

Nach Abbildung 5 liegen sechs Tages-Vibrationsexpositionswerte im Bereich von  $0,2$  bis  $0,29 \text{ m/s}^2$ , neun im Bereich von  $0,3$  bis  $0,39 \text{ m/s}^2$ , zehn im Bereich von  $0,4$  bis  $0,49 \text{ m/s}^2$  und zwei Tages-Vi-

brationsexpositionsweite im Bereich von 0,5 bis 0,59  $\text{m/s}^2$ . Der Mittelwert für den Tages-Vibrationsexpositionswert über alle Messungen beträgt  $A(8)=0,37\pm0,09 \text{ m/s}^2$ . Die ermittelten

Tages-Vibrationsexpositionswerte liegen somit im Mittel unterhalb des Auslösewertes von  $A(8)=0,5 \text{ m/s}^2$ . Zwei der 26 Messungen erreichen jedoch den Auslösewert von  $A(8)=0,5 \text{ m/s}^2$ .



Abbildung 6: Mobilbagger im Schrottgroßhandel bei der Beladung eines Eisenbahnwaggon. Die Fahrerkabine beim Mobilbagger ist angehoben, damit der Fahrer eine bessere Sicht in den zu beladenden Eisenbahnwaggon hat.

Figure 6: Mobile excavator in a scrap yard loading a railcar. The operator's cab is set higher so that the operator has a better view into the railcar.

Illustration 6: Excavatrice mobile dans le commerce de ferrailles en gros lors du chargement d'un wagon des chemins de fer. La cabine du conducteur est surélevée afin que le conducteur puisse avoir une meilleure visibilité sur le wagon à charger.

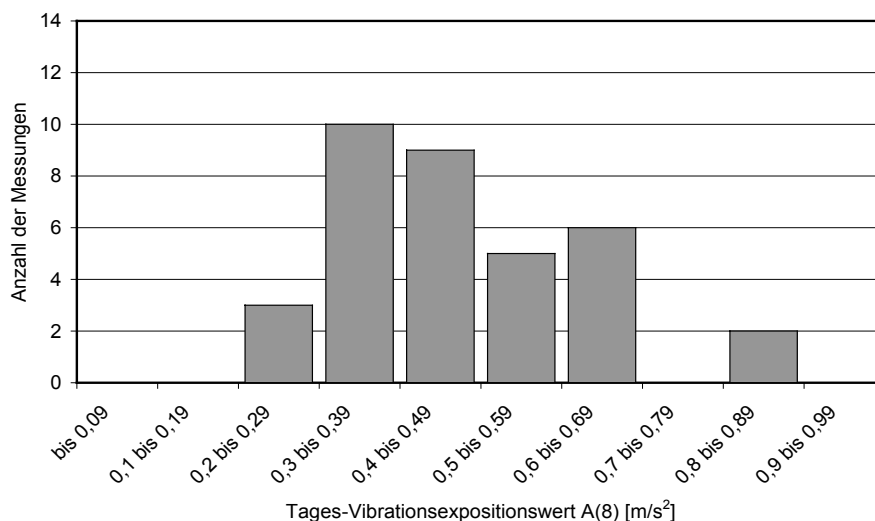


Abbildung 7: Häufigkeitsverteilung des Tages-Vibrationsexpositionswertes A(8) für die messtechnisch erfassten Mobilbagger-Fahrer im Schrottgroßhandel.

Figure 7: Frequency distribution of the daily exposure to vibration A(8) obtained for the tested mobile excavator operator at the scrap yard.

Illustration 7: Distribution de fréquence de la valeur d'exposition quotidienne aux vibrations A(8) pour les conducteurs d'excavatrice mobile testés dans le commerce de ferrailles en gros.

## 6. Mobilbagger-Fahrer im Schrottgroßhandel

### 6.1 Tätigkeitsbeschreibung

Im Schrottgroßhandel wird Schrott unterschiedlichster Art per Lkw, Bahn oder auch Schiff angeliefert. Nach der Entladung wird der Schrott sortenrein getrennt, zwischengelagert und zum Verkauf wieder auf vorgenannte Transportmittel verladen. Für die Entladung, die Umschichtung oder Sortierung sowie die Beladung werden vielfach Mobilbagger eingesetzt. Einen Einblick in die typischen Betriebsverhältnisse gibt Abbildung 6.

Die Mobilbagger sind üblicherweise einem bestimmten Betriebsbereich zugeordnet. Die Fahranteile sind deshalb im Hinblick auf die Gesamttätigkeit sehr gering. Fahrten werden meist zur genauen Positionierung und zum Wechsel der Einsatzorte durchgeführt. Manche Mobilbagger werden stationär an Schrottscheren bzw. Schrottpressen betrieben, d.h. deren Aufgabe besteht darin, die Scheren und Pressen mit Schrottteilen zu befüllen und die Lieferfahrzeuge zu entladen. Damit die Fahrer beim Be- und Entladen der Lkw und Bahnwaggons eine bessere Sicht auf die Ladefläche der Lkw und in die Waggons haben, können die Fahrerkabinen der Mobilbagger in der Regel angehoben werden.

Für die Verladung bzw. zum Aufschichten von Schrottspänen wird an den Ausleger des Mobilbaggers ein Elektromagnet montiert. Bei der Beladung von Containern und Eisenbahnwaggons wird der Schrott je nach Material mit dem Greifer des Baggers verdichtet. Hierzu wird auch teilweise ein Gewicht zu Hilfe genommen.

Die Fahrbahnoberflächen bestehen meist aus verfugten Betonplatten, die sich teilweise abgesetzt haben und gebrochen sind. Es wurden auch Fahrbahnbeläge aus Verbundpflaster und aus unbefestigtem Untergrund mit Schlaglöchern angetroffen. Beschädigte Fahrbahnbereiche waren in einigen Fällen auch mit Stahlplatten ausgeglichen. Teilweise führen durch die Firmengelände auch Bahngleise, die beim Wechsel des Einsatzortes überfahren werden.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Messergebnisse für die Messungen bei Gabelstaplern im Baustoffhandel, Portalkranen und Portalstaplern in Hafenumschlagunternehmen und Mobilbaggern im Schrottgroßhandel.

Table 1: Summary of the test results obtained for forklifts in wholesale construction materials operations, portal cranes and portal stackers in ports and mobile excavators in scrap yards.

Tableau 1: Récapitulatif des résultats des mesures effectuées sur les chariots élévateurs à fourche dans le commerce des matériaux de construction, sur les grues portiques et les chariots-cavaliers dans les entreprises de transbordement portuaire et sur les excavatrices mobiles dans le commerce de ferrailles en gros.

	Gabelstapler im Baustoff- großhandel	Portalkrane in Hafenumschlags- unternehmen	Portalstapler in Hafenumschlags- unternehmen	Mobilbagger im Schrottgroßhandel
Einzelmessungen [n]	26	27		
gesamte Messdauer [h]	36	30	37	
$A(8)_{\text{mittel}}$ [ $\text{m/s}^2$ ] ( $\bar{x} \pm s$ )	0,29±0,09	0,22±0,07	0,37±0,09	
Minimalwert $A(8)_{\text{min}}$ [ $\text{m/s}^2$ ]	0,13	0,11	0,22	
Maximalwert $A(8)_{\text{max}}$ [ $\text{m/s}^2$ ]	0,46	0,38	0,52	0,88
Verhältnis $A(8)_{\text{max}} / A(8)_{\text{min}}$	3½ : 1	3½ : 1	2½ : 1	4 : 1
<b>nur vertikale Achse:</b> $A(8)_{\text{z,mittel}}$ [ $\text{m/s}^2$ ] ( $\bar{x} \pm s$ )	0,28±0,09	0,14±0,05	0,24±0,07	
Minimalwert $A(8)_{\text{z,min}}$ [ $\text{m/s}^2$ ]	0,10	0,07	0,16	0,17
Maximalwert $A(8)_{\text{z,max}}$ [ $\text{m/s}^2$ ]	0,46	0,29	0,45	0,66

## 6.2 Messergebnisse

Insgesamt wurden 35 Messungen auf 31 verschiedenen Mobilbaggern überwiegend im Rahmen einer Messreihe in den Jahren 2000 und 2001 durchgeführt. Die Messdauern der Einzelmessungen variierten von 23 bis 193 Minuten. Insgesamt wurden Vibrationseinwirkungen beim Fahren von Mobilbaggern über etwa 35 Stunden aufgezeichnet.

Der kleinste gemessene Mittelwert – unter Berücksichtigung des jeweils höchsten frequenzbewerteten Beschleunigungswertes der drei Achsen auf dem Sitz – betrug  $a_{\text{we}}=0,21 \text{ m/s}^2$  und der größte  $a_{\text{we}}=0,88 \text{ m/s}^2$ . Insofern liegt das Verhältnis von größtem zu kleinstem Messwert bei etwa 4:1.

Da die Fahrer üblicherweise keine sonstigen Tätigkeiten ausüben, beträgt die tägliche reine Lenkzeit bis zu etwa acht Stunden, je nach Arbeitsanfall. Bei einer angenommenen achttündigen Fahrtdauer entsprechen die gemessenen

Mittelwerte der frequenzbewerteten Beschleunigungen dem auf acht Stunden normierten Tages-Vibrationsexpositionswert. Die Häufigkeitsverteilung der Tages-Vibrationsexpositionswerte ist in Abbildung 7 grafisch dargestellt.

Nach Abbildung 7 liegen 22 der 35 Tages-Vibrationsexpositionswerte im Bereich von 0,2 bis 0,49  $\text{m/s}^2$ , elf Tages-Vibrationsexpositionswerte im Bereich von 0,5 bis 0,69  $\text{m/s}^2$  und zwei im Bereich von 0,8 bis 0,89  $\text{m/s}^2$ . Der arithmetische Mittelwert aller Tages-Vibrationsexpositionswerte beträgt  $A(8)=0,47 \pm 0,15 \text{ m/s}^2$ .

Nach den durchgeführten Messungen wird somit der Auslösewert von  $A(8)=0,5 \text{ m/s}^2$  bei elf der 35 Messungen erreicht oder überschritten, der Mittelwert über alle Messungen liegt im Bereich des Auslösewertes.

## 7. Diskussion

Zur Ermittlung repräsentativer Tages-Vibrationsexpositionswerte wurden in verschiedenen Branchen Vibrationsmessungen beim Fahren von Gabelstaplern, Portalstaplern, Portalkranen und Mobilbaggern durchgeführt. Die Messungen wurden während repräsentativer Tätigkeiten im normalen Arbeitsprozess vorgenommen. Es wurden keine Testfahrten durchgeführt oder simulierte Tätigkeiten messtechnisch erfasst.

Die Ergebnisse der Messungen auf vier unterschiedlichen Fahrzeugarten in drei unterschiedlichen Branchen sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Je Gruppe wurden zwischen 26 und 35 Einzelmessungen mit einer gesamten Messdauer zwischen 30 und 37 Stunden durchgeführt. Die Mittelwerte der Tages-Vibrationsexpositionswerte je Gruppe liegen im Bereich von  $A(8)=0,22 \pm 0,07 \text{ m/s}^2$  bis zu  $A(8)=0,47 \pm 0,15 \text{ m/s}^2$ . Die Verhältnisse vom größten zum kleinsten er-

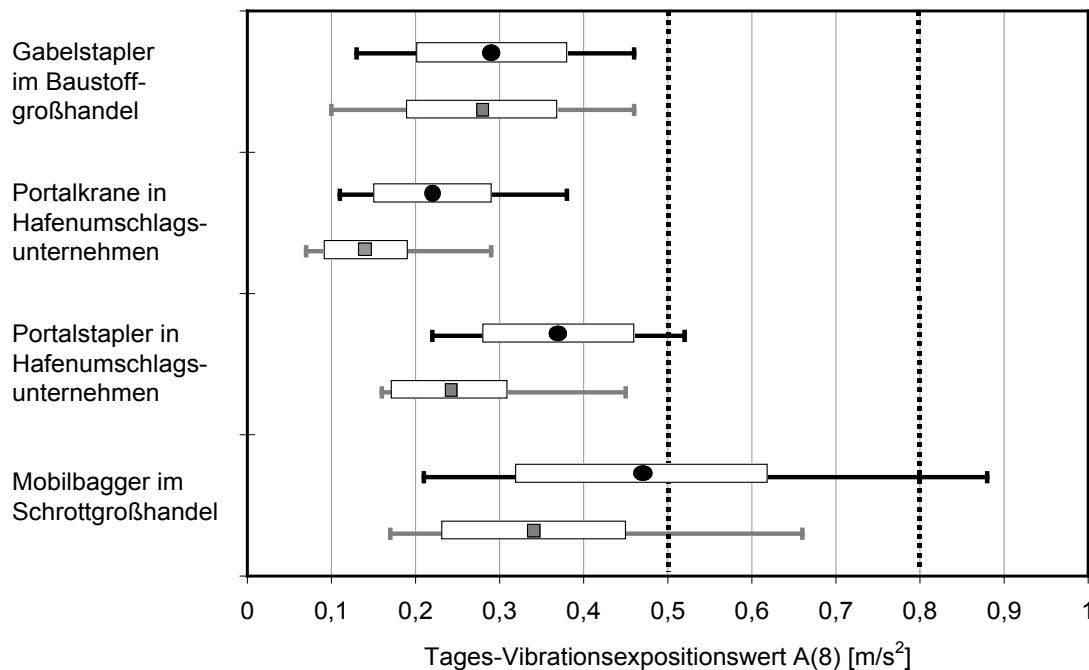


Abbildung 8: Grafische Darstellung der Tages-Vibrationsexpositionswerte  $A(8)$  für die vier untersuchten Fahrtätigkeiten. Dargestellt sind die Mittelwerte (Kreise und Quadrate) mit Standardabweichung (Rechtecke) und die Bereiche vom kleinsten bis zum größten Wert (Fehlerbalkenbereich). Die jeweils oberen Darstellungen (Kreise) geben die Ergebnisse der größten Werte aus den drei Raumachsen wieder, wohingegen die jeweils unteren Darstellungen (Quadrate) ausschließlich die Ergebnisse der vertikalen z-Achse darstellen.

Figure 8: Graphic illustration of the daily vibration  $A(8)$  for the four motor vehicle operational activities that were tested. Illustrated here are the average values (circles and squares) with standard deviation (rectangles) and the areas with the lowest to highest values (error bars). Each of the upper illustrations (circles) provides the results of the highest values from the three space axes, whereas the lower illustrations (squares) show only the results of the z-axis.

Illustration 8: Représentation graphique de la valeur quotidienne d'exposition aux vibrations  $A(8)$  pour les quatre activités de conduite. Les moyennes (cercles et carrés) avec une tolérance standard (rectangles) sont représentées tout comme les plages de la valeur minimale à la valeur maximale (barre d'erreurs). Les représentations du haut (cercles) fournissent les résultats des valeurs maximales résultant des trois axes de coordonnées spatiales, tandis que celles du bas (carrés) présentent uniquement les résultats de l'axe vertical z.

mittelten Tages-Vibrationsexpositionswert innerhalb einer Gruppe variieren von  $2\frac{1}{2} : 1$  bis zu  $4 : 1$ .

In Tabelle 1 sind ferner auch die ermittelten Tages-Vibrationsexpositionswerte unter ausschließlicher Berücksichtigung der vertikalen Achse dargestellt. Danach sind für die Gabelstapler-Fahrer im Baustoffgroßhandel die Tages-Vibrationsexpositionswerte unter Berücksichtigung aller drei Achsen nahezu identisch mit den Tages-Vibrationsexpositionswerten unter ausschließlicher Berücksichtigung der vertikalen Achse. Im Gegensatz hierzu sind für die Portalkran- und Portalstapler-Fahrer in Hafenumschlagunternehmen und für die Mobilbagger-Fahrer im Schrottgroßhandel die Tages-Vibrationsexpositionswerte unter ausschließlicher Berücksichtigung der vertikalen Achse im Mittel deutlich geringer als unter Berücksichtigung aller drei Achsen.

Mit Ausnahme der Messungen bei den Gabelstapler-Fahrern sind die Tages-Vibrationsexpositionswerte somit durch die horizontalen Achsen bestimmt. Dieses Ergebnis ist insofern überraschend, weil üblicherweise bei Fahrtätigkeiten die vertikale Achse für die Höhe der Vibrationsexposition bestimmend ist.

Gründe für die im Vergleich zur vertikalen Achse hohen Vibrationen in den horizontalen Achsen sind in den Besonderheiten der drei Fahrzeugarten Portalkrane, Portalstapler und Mobilbagger und deren spezifischen Einsatzbedingungen zu suchen. So haben die drei Fahrzeugarten relativ hohe Baumaße und die Fahrerkabinen befinden sich oben am Fahrzeug. Bei den Portalkranen hängt die Kabine am Ausleger. Die Fahrwege der Kabine von der Schiff- zur Landseite und umgekehrt sind relativ kurz, so dass viele Beschleunigungs- und Bremsvorgänge in Verbindung mit

Richtungswechseln erfolgen. Bei den Portalstaplern sind die Fahrwege zwar länger, allerdings neigen die Fahrzeuge aufgrund ihrer hohen und im Verhältnis hierzu schmalen Bauart verstärkt zu seitlichen Schwingungen. Außerdem ist es beim Aufnehmen und Absetzen der Container erforderlich, das Fahrzeug und das Tragemittel genau über dem Container zu positionieren. Hierzu sind kleinere Positionsänderungen erforderlich, wodurch der Portalstapler zu horizontalen Schwingungen angeregt wird. Die Mobilbagger schließlich stehen mehr oder weniger an einem Platz. Die Vibrationen entstehen durch die Bewegungen des Greifarms beim Be- und Entladen der Lkw und Bahnwaggons. Durch das Gewicht des mit Schrott gefüllten Greifers werden die Mobilbagger insbesondere zu Kippschwingungen angeregt. Hierbei ist die Kabine üblicherweise angehoben, damit der Fahrer eine

gute Sicht auf die Lkw-Ladeflächen und in die Waggonen hat.

In Abbildung 8 sind die Mittelwerte, Standardabweichungen und die kleinsten und größten Werte der ermittelten Tages-Vibrationsexpositionswerte – unter Berücksichtigung aller drei Achsen (jeweils oben, Mittelwert = Kreis) und unter ausschließlicher Berücksichtigung der vertikalen Achse (jeweils unten, Mittelwert = Quadrat) – grafisch dargestellt. Die Standardabweichung des Mittelwertes wird in Abbildung 8 durch das Rechteck symbolisiert, die Spanne zwischen kleinstem und größtem Wert der Beurteilungsbeschleunigung durch den Fehlerbalken.

In Abbildung 8 sind außerdem der Auslösewert von  $A(8)=0,5 \text{ m/s}^2$  und der Expositionsgrenzwert für die vertikale Achse in Höhe von  $A(8)=0,8 \text{ m/s}^2$  durch jeweils eine gestrichelte Linie grafisch dargestellt. Abbildung 8 ist zu entnehmen, dass der Auslösewert für die drei untersuchten Tätigkeiten Gabelstapler-Fahrer im Baustoffgroßhandel sowie Portalkran- und Portalstapler-Fahrer in Hafenumschlagsunternehmen nach den durchgeführten Messungen und Ermittlungen unter den in den Betrieben während der Messungen vorgefundenen Verhältnissen als eingehalten einzustufen ist. Für die Fahrer der Mobilbagger liegen die Tages-Vibrationsexpositionswerte im Mittel im Bereich des Auslösewertes. Die Expositionsgrenzwerte von  $A(8)=1,15 \text{ m/s}^2$  in den horizontalen Achsen und  $A(8)=0,8 \text{ m/s}^2$  in der vertikalen Achse wurden bei den untersuchten Fahrtätigkeiten und den vorgefundenen betrieblichen Bedingungen nicht erreicht oder überschritten.

Gemäß der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung ist beim Überschreiten des Auslösewertes von  $A(8)=0,5 \text{ m/s}^2$  ein Programm mit technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Verringerung der Exposition auszuarbeiten und durchzuführen. Außerdem sind die Beschäftigten über mögliche Gefährdungen durch die Einwirkung von Vibrationen zu unterweisen und ihnen sind arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen anzubieten.

Generell haben im Arbeitsschutz technische Maßnahmen Vorrang vor organi-

satorischen Maßnahmen und dem Bereitstellen von persönlichen Schutzausrüstungen. Insofern stehen auch bei Vibrationsminderungsmaßnahmen die Verbesserung und Instandhaltung der Fahrzeuge und Fahrbahnverhältnisse im Vordergrund. Insbesondere können auch durch die Auswahl geeigneter Sitze die auf die Fahrer einwirkenden Beschleunigungen deutlich gemindert werden. Allerdings verfügen die Sitze üblicherweise nur in vertikaler Richtung über Feder-Dämpfer-Elemente, so dass bei den hier vorgestellten Tätigkeiten, bei denen überwiegend die horizontalen Achsen dominant waren, eine Vibrationsminderung durch verbesserte Sitze nur bedingt möglich ist.

Daneben sind für die betriebliche Praxis organisatorische Maßnahmen im Hinblick auf die Sensibilisierung der Fahrer hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Art der Bedienung und Höhe der Vibrationsexposition von besonderem Interesse. Hierzu sind regelmäßige Unterweisungen erforderlich. Dabei ist zu vermitteln, dass auch die Fahrer selbst durch umsichtige und vorausschauende Fahrweise zur Minderung der Vibrationsexposition beitragen können. Schließlich sind die Fahrer auch über das richtige Einstellen der Sitze auf das jeweilige Fahrergewicht zu unterweisen, da dies in der betrieblichen Praxis – insbesondere bei Fahrzeugen, die von mehreren Fahrern gefahren werden – oftmals vernachlässigt wird und hierdurch die mögliche Vibrationsminderung der Sitze nicht oder nur gering ausgeschöpft wird.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass nach den durchgeführten Messungen und Untersuchungen die Arbeitsbedingungen und die Tätigkeitsprofile von Fahrern im innerbetrieblichen Transport innerhalb einer Branche durchaus ähnlich sind. Die durchgeführten Vibrationsmessungen ergeben Tages-Vibrationsexpositionswerte, die einen relativ kleinen Wertebereich umspannen und unter Berücksichtigung der Mess- und Ermittlungsbedingungen eindeutige Aussagen zur Höhe der Vibrationsexposition der Fahrer innerhalb einer Branche erlauben. Der hier gewählte Ansatz, branchenspezifische Messungen durch-

zuführen und dabei weniger auf technische Details der einzelnen Fahrzeuge als auf die besonderen branchenspezifischen Einsatzbedingungen zu achten, erscheint daher durchaus zielführend zu sein.

Ausgehend von den dargestellten Ergebnissen werden weitere branchenspezifische Messungen folgen, um Hilfen für die praktische Umsetzung der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung geben zu können.

## 8. Literatur

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (Hrsg. 2007) Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung – LärmVibrationsArbSchV). Bundesgesetzblatt I, Nr. 8, S. 261–269

Bundestag und Bundesrat (Hrsg. 1996) Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG). Bundesgesetzblatt I, Nr. 43, S. 1246–1253

Christ E, Fischer S, Kaulbars U, Sayn D (2006) BGIA-Report 6/2006 Vibrationseinwirkung an Arbeitsplätzen – Kennwerte der Hand-Arm- und Ganzkörper-Schwingungsbelastung. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin. ISBN 3–88383–709–1

Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (Hrsg. 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). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 177: 13–19

Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (Hrsg. 2003) Richtlinie 2003/10/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 6. Februar 2003 über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Lärm) (17. Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 42: 38–44

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

Kany HP, Schäfer K (2003) Der Gabelstaplerfahrer. Handbuch der Arbeitsmedizin IV-9.7.2. 33. Erg. Lieferung. ecomed-Verlag

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