

Vibrationsbelastung bei Flurförderzeugen

Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung nimmt die Betreiber von Flurförderzeugen endgültig in die Pflicht

*Dipl.-Ing. Gabriel Fischer, Prof. Dr.-Ing. W. A. Günthner,
Lehrstuhl Fördertechnik Materialfluss Logistik, TU München*

Fahrer von Flurförderzeugen sind bei der Ausübung ihrer Tätigkeit Ganzkörper-Vibrationen ausgesetzt. Im vorliegenden Beitrag erläutern die Autoren die Auswirkungen der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung für die Betreiber von Flurförderzeugen und legen dar, auf welchem Weg sich der Lehrstuhl fml aus wissenschaftlicher Sicht des Themas angenommen hat.

1 Belastung am Arbeitsplatz

Flurförderzeuge aller Art werden im Betrieb zu Schwingungen angeregt und übertragen diese im Wesentlichen über den Sitz oder die Standplattform auf den Fahrer. Da die Schwingungen auf den ganzen Körper des Menschen wirken, spricht man von Humanschwingungen oder Ganzkörper-Vibrationen. Ganzkörper-Vibrationen mindern nicht nur den Komfort am Arbeitsplatz, sondern können auch zu Muskel- und Skeletterkrankungen sowie Durchblutungsstörungen führen. Sie stellen somit eine Gefährdung für die Gesundheit und die Sicherheit des Bedieners dar und dürfen dementsprechend nicht unterschätzt werden. Durch den Vergleich internationaler Studien ist davon auszugehen, dass in Deutschland ca. 1 Million Beschäftigte, d.h. 3% der Arbeitnehmer, in erheblichem Maße Ganzkörper-Vibrationen ausgesetzt sind [1]. In Deutschland gelten bei Arbeitnehmern, die Ganzkörper-Vibrationen ausgesetzt sind, Beschwerden an der Lendenwirbelsäule als Berufskrankheit.

Fahrzeugvibrationen und die daraus resultierende Fahrerbelastung lassen sich beim Einsatz von Flurförderzeugen nicht vermeiden. Neben den eingebauten Antriebsaggregaten sind das Heben und Senken von Lasten sowie Fahrbewegungen Ursache für die Vibrationen. Wenn die Geräte gemäß den Herstellerangaben richtig gewartet werden, sind die eingeleiteten Vibrationen durch die Antriebsaggregate allein jedoch so gering, dass sie zu keiner nennenswerten Belastung des Fahrers führen. Auch das Heben und Senken von Lasten leitet im Normalfall keine solchen Stöße in das Flurförderzeug ein, dass eine Gefährdung vorliegt. Wesentlich problematischer sind Fahrbewegungen, wenn das Gesamtsystem durch Beschleunigen und Bremsen oder Anregungen durch Bodenunebenheiten in Schwingung versetzt wird.

2 Rechtliche Rahmenbedingungen und Konsequenzen für die Betreiber

Seit dem Inkrafttreten des Arbeitsschutzgesetzes am 21.08.1996 sind bereits alle Arbeitsgeber verpflichtet, eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen – auch unter Berücksichtigung von mechanischen Schwingungen. Verbindliche Grundlage ist gemäß §4 ArbSchG u.a. die Berücksichtigung des Stands der Technik, d.h. auch nationaler und internationaler Normen. Konkrete Zahlenwerte, an denen sich der Arbeitgeber orientieren konnte, waren jedoch Mangelware.

Dies änderte sich, als zum Schutz der Beschäftigten im Jahre 2002 vom Europäischen Parlament die Richtlinie „Vibration“ 2002/44/EG verabschiedet wurde. Die Umsetzung in nationales Recht erfolgte in Deutschland erst im Jahr 2007, als die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung am 9. März 2007 in Kraft trat. Der Gesetzgeber nennt nun Kennwerte, deren Einhaltung objektiv überprüft werden kann.

Welche Konsequenzen hat dies nun konkret für Betreiber und Hersteller? Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung nimmt ausschließlich die Betreiber von Flurförderzeugen in die Pflicht, da einzig und allein der konkrete Einsatzfall zu beurteilen ist. Die Hersteller müssen zwar im Rahmen der

alten und neuen Maschinenrichtlinie 98/37/EG bzw. 2006/42/EG in der Betriebsanleitung einen Schwingungsemissionswert angeben, welcher gemäß DIN EN 13059 zu ermitteln ist. Hierbei wird unter festgelegten Bedingungen auf einer 25 m langen Teststrecke über zwei definierte Schwellen gefahren. Der für das jeweilige Fahrzeug spezifische Schwingungskennwert lässt jedoch keine Aussage über die Belastung des Fahrers beim Einsatz im Betrieb zu. Diese hängt von mehreren Faktoren ab. Zu nennen sind neben dem Fahrzeugtyp der verwendete Fahrersitz, der Zustand der Bereifung und der Fahrwege sowie die Geschwindigkeit, mit der die Fahraufgaben erledigt werden.

Der Betreiber von Flurförderzeugen ist nun verpflichtet, eine Gefährdungsbeurteilung und ihre Dokumentation nach Vorgaben zu Inhalt und Form durchzuführen. Er muss feststellen, ob die Beschäftigten Lärm oder Vibrationen ausgesetzt sind oder sein könnten. Beim Einsatz von Flurförderzeugen ist jedoch stets von einer Vibrationsbelastung auszugehen. Im nächsten Schritt ist die Belastung der Arbeitnehmer am Arbeitsplatz zu ermitteln und zu bewerten. Jeder Mensch nimmt die auf ihn wirkenden Schwingungen unterschiedlich wahr und besitzt somit ein subjektives Empfinden bezüglich Schwingungsintensität, Komfort sowie gesundheitlicher Belastung. Als objektives Kriterium hat der Gesetzgeber deswegen die sog. Tagesexposition $A(8)$ eingeführt, einen Schwingungskennwert auf Basis von Messungen für eine 8-Stunden-Schicht. Lässt sich die Einhaltung der vorgeschriebenen Grenzwerte nicht sicher ermitteln, hat der Betreiber eine Messung durchzuführen.

Als Grenzwerte für die Tagesexposition nennt die Verordnung jeweils zwei wichtige Werte, den Auslöse- und den Expositionsgrenzwert. In Deutschland beträgt im Bereich der Ganzkörper-Vibrationen der Auslösewert $A(8)=0,5 \text{ m/s}^2$ für alle drei Raumachsen. Für den Expositionsgrenzwert gelten für die beiden horizontalen Achsen $A(8)=1,15 \text{ m/s}^2$ und für die vertikale Achse $A(8)=0,8 \text{ m/s}^2$. Ist der Auslösewert erreicht, muss der Betreiber sicherstellen, dass die Beschäftigten eine Unterweisung über eine mögliche Gesundheitsgefährdung aufgrund der Ganzkörper-Vibrationen sowie eine allgemeine arbeitsmedizinische Beratung erhalten. Des Weiteren hat er den Beschäftigten eine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung anzubieten sowie ein Programm mit technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Verringerung der Exposition durch Vibration zu erarbeiten und durchzuführen. Ist der Expositionsgrenzwert erreicht, hat der Betreiber regelmäßige arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen zu veranlassen und muss unverzüglich die Gründe für die hohe Schwingungsexposition ermitteln. Weitere Maßnahmen sind zu ergreifen, um die Belastung unter die Expositionsgrenze zu senken und ein wiederholtes Überschreiten zu verhindern.

3 Erfassung der Ganzkörper-Vibrationen

3.1 Theoretische Grundbetrachtungen

Die Beurteilungsgröße für die Belastung des Arbeitnehmers ist die Tagesexposition, welche nach dem aktuellen Stand der Technik gemäß der Norm ISO 2631-1 zu bestimmen ist. Die Definitionen sowie Beispiele zur Berechnung findet der Anwender auch in der VDI 2057 Blatt 1. Als messbare physikalische Größe wird die Beschleunigung an der Einleitstelle in den menschlichen Körper herangezogen. Bei einem sitzenden Bediener ist dies auf der Sitzoberfläche, bei einem Standgerät auf der Standplattform. Die Messung erfolgt mit einem in eine Sitzscheibe integrierten Triax-Beschleunigungssensor. Der Fahrer positioniert diese auf seinem Sitz und setzt sich mittig auf den Sensor. So können die eingeleiteten Schwingungen in Form der unbewerteten Beschleunigung $a(t)$ optimal aufgezeichnet werden. Da die in den Schwingungen vorkommenden Frequenzanteile beim Menschen unterschiedliche Beanspruchungen hervorrufen, ist das gemessene Signal einer Frequenzbewertung mit Hilfe von in der Norm festgelegten Filtern zu unterziehen. Ergebnis ist die frequenzbewertete Beschleunigung $a_w(t)$. Als Kennwert einer Messung der Dauer T dient der quadratische, energieäquivalente Mittelwert a_{wT} , der sog. Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung. Er ist definiert als:

$$a_{wT} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T a_w^2(t) \cdot dt}$$

Unter Berücksichtigung des Energieäquivalenzprinzips – d.h. gleiche Energien rufen die gleiche Wirkung hervor – kann der auf eine 8-Stunden-Schicht bezogene Tagesvibrationswert $A(8)$, die sog. Tagesexposition, als Beurteilungsbeschleunigung ermittelt werden. Dabei ist zum einen die Einwirkungs-dauer T_e zu ermitteln, in der der Mensch durch mechanische Schwingungen belastet wird. Während die Einwirkungs-dauer T_e kurze Schwingungsunterbrechungen mit einschließt, werden längere schwin-gungsfreie Zeiten wie z.B. Pausen nicht mit einbezogen. Zum anderen ist mit einer repräsentativen Messung der Dauer T der Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung $a_{we}=a_{wT}$ zu bestim-men. Bei einer über den Tag gleichbleibenden Belastung berechnet sich die Tagesexposition $A(8)$ zu:

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

Ist die Schwingungseinwirkung im Verlaufe eines Tages nicht konstant, so ist sie in repräsentative Abschnitte der Dauer T_i zu unterteilen. Dies ist der Fall, wenn unterschiedliche Arbeitsmittel benutzt werden oder unterschiedliche Betriebsbedingungen vorliegen. Für jeden Belastungsabschnitt ist der Effektivwert der frequenzbewerteten Beschleunigung $a_{we,i}$ zu bestimmen. Die Tagesexposition $A(8)$ ergibt sich dann bei n Belastungsabschnitten zu:

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

3.2 Vergleichsmessungen aus Datenbanken

Einen ersten Anhaltspunkt für die Belastung der eigenen Arbeitnehmer bietet für den Betreiber der Blick in einschlägige Datenbanken. So finden sich in dem „Katalog repräsentativer Lärm- und Vibrati-onsdaten am Arbeitsplatz“ (KarLA) des Landesamts für Arbeitsschutz Potsdam Messwerte zu den gebräuchlichsten Arbeitsmitteln, darunter auch Flurförderzeuge [2]. Zu beachten ist dabei aber die oft mangelnde Übertragbarkeit auf den eigenen Anwendungsfall, da in der Gruppe der Flurförderzeuge nur ungenügend dokumentiert ist, welche Einsatzbedingungen bei der Messung vorlagen. Gemittelte Beschleunigungswerte für einzelne Maschinentypen können einer branchenbezogenen Gefährdungs-tabelle entnommen werden [3]. Die Messwerte der angegebenen Tabelle im Bereich der Flurförder-zeuge stützen sich dabei vor allem auf Quellen aus einschlägiger Literatur und sind somit nur als mög-liche Anhaltswerte zu sehen. Lediglich im Bereich des Baustoffgroßhandels liegen umfangreiche Mes-sungen vor. Schäfer et al. konnten durch Messungen an 26 Gabelstaplern in den Jahren 2004 und 2005 zeigen, dass bei den vorgefundenen betrieblichen Verhältnissen der Auslösewert bei einer ge-messenen mittleren Tagesexposition von $A(8)=0,29 \text{ m/s}^2$ nicht erreicht wird [4].

Da die tatsächliche Belastung des Fahrers stark von den herrschenden Einsatzbedingungen abhängt, können die erwähnten Quellen nur eine erste Hilfestellung bieten. Ein sicherer Nachweis kann aus-schließlich durch eine repräsentative Messung vor Ort geschehen.

3.3 Durchführen eigener Messungen

Voraussetzung für die exakte Bestimmung der Tagesexposition gemäß dem beschriebenen Verfahren ist das nötige Messequipment. Das mobile Messsystem sollte über ein Sitzkissen mit integriertem Beschleunigungsaufnehmer in den drei Raumachsen sowie die nötige Hard- und Software zur Erfas-sung und Verarbeitung der Beschleunigungswerte verfügen (A/D-Wandlung, Frequenzbewertung, Effektivwertbildung). Neben umfangreichen Mehrkanal-Messsystemen findet der Anwender auf dem Markt mittlerweile eine Vielzahl an kleineren mobilen Messsystemen, in die die erwähnten Berech-nungsalgorithmen bereits integriert sind und die den Anwender bei der Ermittlung der Tagesexposition unterstützen. Als Beispiel sei hierfür [5] genannt. Eine weitere Möglichkeit für eine erste Vergleichs-

messung bietet das kompakte Messgerät Movito DTM der Grammer AG zur Ermittlung der Tagesexposition [6]. Da die Messung hier jedoch seitlich am Sitz erfolgt und nicht an der Einleitungsstelle, also der Sitzfläche, ist beim Erreichen kritischer Werte die exakte Belastung nach Norm mit einem anderen Messsystem zu bestimmen.

Für die Berechnung der Tagesexposition aus gemessenen Effektivwerten stehen im Internet Rechen-Tools zur Verfügung [7], [8].

4 Zielsetzung und Vorgehensweise des Forschungsprojekts

Es existieren einige Quellen mit gemessenen Belastungsgrößen, die Übertragbarkeit auf einen anderen Anwendungsfall ist jedoch nur sehr selten sichergestellt. Eine qualifizierte Schätzung der Tagesexposition ist somit nicht hinreichend möglich. Der Betreiber muss dementsprechend selbst Messungen durchführen oder eine Fachfirma beauftragen, um ein Urteil über die Belastung der Arbeitnehmer fällen zu können. An dieser Stelle haben der Lehrstuhl Fördertechnik Materialfluss Logistik der TU München (fml) sowie die Forschungsgemeinschaft Intralogistik / Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) e.V. Handlungsbedarf erkannt und sich des Themas angenommen.

Im Gegensatz zu existierenden Untersuchungen liegt der Fokus des Forschungsprojekts „Untersuchung der Humanschwingungen beim Betrieb von Flurförderzeugen“ auf der Analyse des Einflusses einzelner Parameter auf die Vibrationsbelastung und den Tagesexpositionswert. Hierbei soll ein Verfahren entwickelt werden, mit Hilfe dessen die Tagesexposition in Abhängigkeit der vorliegenden Einsatzbedingungen geschätzt werden kann.

Stellt der Betreiber nach einer erfolgten Messung fest, dass der Auslöse- oder gar der Grenzwert erreicht wurde, hat er bei reiner Betrachtung des gemessenen Effektivwerts keinen Anhaltspunkt, wie er wirksam die Belastung für seinen Fahrer reduzieren kann. Durch die in dem Forschungsprojekt angestrebte Systematik kann er jedoch gezielt Schwachstellen erkennen und versuchen, diese zu verbessern, bevor eine weitere Messung durchgeführt wird – denn Faktoren wie der Sitz, das Fahrergewicht, der Typ des Flurförderzeugs, die Bereifung oder die Fahrwege beeinflussen in unterschiedlichem Maße die Belastung des Fahrers.

Zur Bestimmung des Verfahrens werden am Lehrstuhl fml für unterschiedliche Flurförderzeuge Mehrkörpermodelle – also schwingungsfähige Systeme – aufgebaut (Abbildung 2). Durch die gezielte Auswahl von zwei Niederhubwagen, einem Schubmaststapler und drei Gegengewichtsstaplern unterschiedlicher Traglasten ist ein repräsentatives Spektrum der sich auf dem Markt befindlichen Flurförderzeuge in den Untersuchung vertreten. Anhand einer Parameterstudie am Computer können mit Hilfe der Mehrkörpersimulation die Einflüsse von Fahrzeugaufbau, Sitz, Fahrergewicht, Bereifung, Beladung und Fahrbahnbeschaffenheit sichtbar gemacht werden. Dies befreit den Forscher natürlich nicht von Messungen. Zum einen werden von den im Forschungsprojekt vertretenen Herstellern dem Lehrstuhl fml Versuchsfahrzeuge zur Verfügung gestellt, mit welchen auf der lehrstuhleigenen Teststrecke (Abbildung 3) umfangreiche Messungen zur Validierung der Mehrkörpermodelle durchgeführt werden. Zum anderen werden in Firmen reale Einsatzfälle vermessen, um erste Anhaltspunkte bezüglich der Tagesexposition zu erhalten und die Systematik abschließend validieren zu können. Mit einer mobilen Messeinrichtung werden auf 8 Kanälen Beschleunigungen an unterschiedlichen Orten des Flurförderzeugs gemessen. Abbildung 1 zeigt ein mit Messtechnik ausgestattetes Versuchsfahrzeug. Nach einer Frequenzbewertung werden die Effektivwerte berechnet; durch Analyse der auftretenden Beschleunigungen können auch gezielt Rückschlüsse über die Auswirkung einzelner Parameter gezogen werden, die der Effektivwert als Kennwert nicht enthält.



Abbildung 1: mit Messtechnik ausgestattetes Versuchsfahrzeug



Abbildung 2: Mehrkörpermodell eines Gegengewichtsgabelstaplers mit Fahrer und Sitz



Abbildung 3: Schwellenüberfahrt und Sprunganregung auf der Teststrecke des Lehrstuhls fml

5 Erste einfache Maßnahmen zur Vibrationsminderung

Ganzkörper-Vibrationen sind beim Betrieb von Flurförderzeugen unvermeidbar. Die Belastung des Fahrers kann jedoch durch einfache Maßnahmen reduziert werden.

Da Gabelstapler herkömmlicher Bauweise kaum Dämpfungselemente zwischen Fahrbahn und Fahrersitz besitzen, stellt der Sitz ein sehr wichtiges Element zur Minderung der Vibrationsbelastung dar, welches von den Fahrern im Normalfall unzureichend genutzt wird. Denn für eine optimale Vibrationsdämpfung ist es unerlässlich, dass der Sitz auf das Gewicht des Fahrers angepasst ist. Eine Untersuchung mit 25 Gabelstaplerfahrern zeigte jedoch, dass nur ein Fahrer unaufgefordert die Gewichtseinstellung angepasst hat [9]. Gerade bei wechselnden Fahrern wird aus Bequemlichkeit auf eine Anpassung der Einstellungen verzichtet. Dies ist fatal, da sich bei falscher Gewichtseinstellung die Schwingungsabsorptionseigenschaften der Federung zum Teil dramatisch verschlechtern. Referenzmessungen zeigen, dass bei einem zu leicht eingestellten Sitz der Fahrer um bis zu 2,5-mal stärker belastet wird als bei richtiger Einstellung [9]. Abbildung 4 verdeutlicht durch Vergleich der Schwingungen auf dem Sitzkissen mit denen an der Sitzbasis die vibrationsmindernde Eigenschaft des Sitzes. Dargestellt ist hier die Fahrt über eine Schwelle.

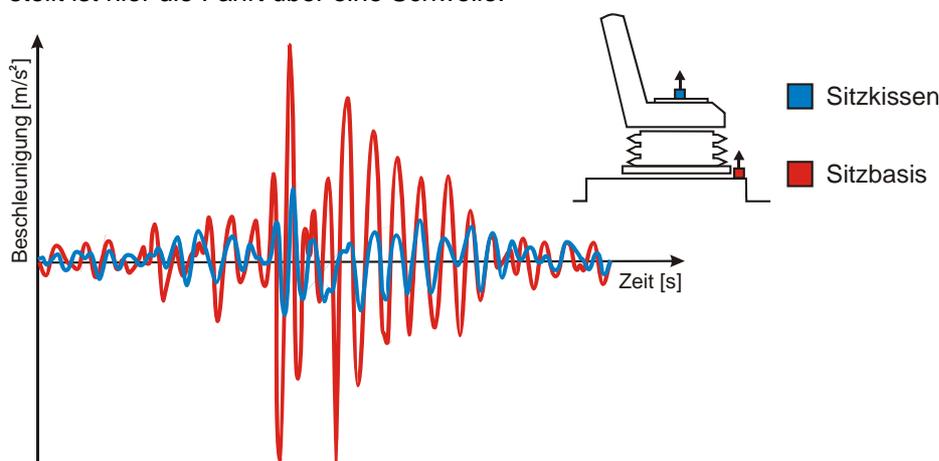


Abbildung 4: Verlauf der Beschleunigung an Sitzbasis und Sitzkissen bei Schwellenüberfahrt

Die meisten Schwingungen werden über die Reifen von der Fahrbahn in das Flurförderzeug eingeleitet. Verkehrswege mit Schlaglöchern, Dehnungsfugen, Unebenheiten und Höhenversätzen sind eine der Hauptursachen für die Vibrationsbelastung der Fahrer und bedingen zudem erhöhten Verschleiß am Fahrzeug. So ist es durchaus sinnvoll, schlechte Fahrbahnen zu sanieren. Eine einfache und schnelle Möglichkeit zur Entfernung von Löchern und Unebenheiten bieten Kunstharze. Durch den Einsatz von verzahnten Stahlschienen können Dehnungsfugen äußerst vibrationsarm gestaltet werden. Ist eine bauliche Änderung wie z.B. bei Eisenbahnschienen im Hof nicht möglich, ist die Reduzierung der Geschwindigkeit beim Überfahren des Hindernisses eine wirksame Maßnahme zur Reduzierung der Belastung.

Neben den erwähnten Aspekten ist es zudem sehr wichtig, den Fahrer über die gefährlichen Auswirkungen von Ganzkörper-Vibrationen aufzuklären. Nur wenn die positive Wirkung der getroffenen Maßnahmen auf die eigene Gesundheit erkannt wird, ist mit einer freiwilligen Einhaltung zu rechnen. Es ist Aufgabe des Betreibers, seine Fahrer zu sensibilisieren.

6 Zusammenfassung

Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung schreibt Grenzwerte für die Belastung eines Arbeitnehmers durch Ganzkörper-Vibrationen vor. Die Bestimmung der vorliegenden Belastung für den Vergleich mit den Grenzwerten ist in den meisten Fällen nur durch eine Messung möglich. Im Rahmen des vorgestellten Forschungsprojekts wird eine Systematik entwickelt, mit Hilfe derer eine Abschätzung der Tagesexposition in Abhängigkeit der Betriebsbedingungen möglich sein soll. Hierfür werden ausgewählte Flurförderzeuge als Mehrkörpermodelle abgebildet und mit Messungen auf der Teststre-

cke des Lehrstuhls fml validiert. Das Forschungsprojekt wird im Auftrag der Forschungsgemeinschaft Intralogistik / Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) e.V. durchgeführt und aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) gefördert.

Literaturverzeichnis:

- [1] Mohr, D.: "Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutz-Verordnung in der Praxis," in VDI-Berichte 2002: Humanschwingungen. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2007
- [2] Landesamt für Arbeitsschutz Potsdam: Katalog repräsentativer Lärm- und Vibrationsdaten am Arbeitsplatz. 2009, <http://www.las-bb.de/karla/>
- [3] Landesamt für Arbeitsschutz Potsdam: Ganzkörper-Vibrationen: Orientierungswerte für Gefährdungsbeurteilung. 2009, http://bb.osha.de/docs/branchenliste_gkv.xls
- [4] Schäfer, K.; Schick, R.; Rokosch, F.; Becker, C.: Branchenspezifische Ermittlung von Ganzkörpervibrationen: Hilfen für die betriebliche Praxis. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 57 (2007) 6 S. 146-157
- [5] Metra Mess- und Frequenztechnik in Radebeul e.K.: www.mmf.de/Humanschwingung. 2009
- [6] Kuttkat, B.: Messgerät erfasst Schwingungen am Arbeitsplatz. 2.12.2008, www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanale/betriebstechnik/arbeitsschutz/articles/156097/, Aufruf am 10.6.2009
- [7] Linde Material Handling GmbH: Humanschwingungen: Berechnungstool. 2009, <http://www.linde-bauma.com/media/bauma2007/rechentool/index.htm>
- [8] Landesamt für Arbeitsschutz Potsdam: Ganzkörper-Vibrations-Belastungs-Rechner. 2009, http://bb.osha.de/docs/gkv_calculator.xls
- [9] Polster, A.: Der Fahrersitz - Schnittstelle zwischen Mensch und Flurförderzeug - im Fokus auf Gesundheit, Motivation und Effizienz. 7. Hamburger Staplertagung, Hamburg, 2008