

Erschienen in:

4. VDI-Tagung Humanschwingungen, VDI-Berichte 2097, S. 61-74, 2010

Untersuchung der Humanschwingungen bei Flurförderzeugen in Versuch und Simulation

Exploration of human vibration with industrial trucks in experiment and simulation

Dipl.-Ing. **G. Fischer**, Dipl.-Ing. **M. Schipplick**,
Prof. Dr.-Ing. **W. A. Günthner**
Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik,
Technische Universität München

Kurzfassung

Bediener von Flurförderzeugen sind bei der Ausübung ihrer Arbeit Ganzkörper-Vibrationen ausgesetzt. Da die Belastung der Fahrer von einer Vielzahl an Parametern abhängt, ist deren Bestimmung ohne Durchführung von Messungen in vielen Fällen nicht möglich. Um die Betreiber von Flurförderzeugen bei der Gefährdungsbeurteilung im Rahmen der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung und der Optimierung der Arbeitsprozesse im Hinblick auf Ganzkörper-Vibrationen zu unterstützen, wird am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München ein Verfahren zur Abschätzung der Tagesexposition in Abhängigkeit der Einsatzbedingungen entwickelt. Basis hierfür ist eine umfangreiche Parameterstudie an sechs ausgewählten Flurförderzeugen mit Hilfe der Mehrkörpersimulation.

Hauptursache für Ganzkörper-Vibrationen beim Betrieb von Flurförderzeugen sind Fahrbewegungen, bei denen das Gesamtsystem durch Beschleunigen und Bremsen oder Anregungen durch Bodenunebenheiten in Schwingung versetzt wird. Bereits in Grundlagenversuchen mit Schwellenüberfahrt und Sprunganregung kann der Einfluss einzelner Parameter sichtbar gemacht werden. Höhere Fahrgeschwindigkeiten bedingen im Normalfall eine stärkere Belastung, während sich vor allem bei Gegengewichtsgabelstaplern das Gewicht der transportierten Last schwingungsdämpfend auf das System auswirkt.

Für die Erstellung der Mehrkörpermodelle werden Steifigkeitswerte von eingebauten Gummilagern sowie des Hydrauliksystems durch Messungen bestimmt. Drei unterschiedliche Fahrzeugsitze mit mechanischer Federung werden auf Prüfständen vermessen und ebenso in ein Mehrkörpermodell überführt. Diverse Bodenprofile wie Schwellen und Höhenversätze sowie stochastische Unebenheiten werden computergestützt erzeugt und in die Untersuchung einbezogen.

Abstract

During their daily work, operators of industrial trucks are exposed to whole-body vibrations. As this exposure depends on a multitude of parameters, it's in many cases not possible to determine it without performing measurements. To support companies operating industrial trucks in the risk assessment requested in the "Noise and Vibration Occupational Safety and Health Ordinance" and in the optimization of working processes, researchers from the Institute for Materials Handling, Material Flow, Logistics at the Technische Universität München are developing a method to estimate the daily exposure to whole-body vibrations.

The basis for the development is a sensitivity analysis on six selected industrial trucks under the usage of multi-body simulation.

The main cause for whole-body vibrations during the use of industrial trucks is the driving process. While driving the whole system of the vehicle is oscillated by acceleration and braking or by impulses caused by unevenness of the ground. The influence of different parameters can be shown by tests, e.g. driving over long or short sleepers. Higher driving speed normally involves a heavier exposure whereas the weight of the transported load decreases the vibrations of the system mainly at counterbalance trucks.

To create multi-body models the stiffness of installed rubber bearings as well as the stiffness of the hydraulic system are measured and serve as input parameters. Also three different seats for industrial trucks are measured on test rigs and transferred to multi-body models.

Miscellaneous cross-sections of the ground like sleepers or offsets in height as well as stochastic unevenness are generated digitally and included in the study.

1. Einleitung

Nachdem nach längerer Entstehungsgeschichte die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung am 9. März 2007 als nationale Umsetzung der EG-Vibrations-Richtlinie 2002/44/EG in Kraft getreten ist [1], wurde auch für die Betreiber von Flurförderzeugen das Thema Ganzkörper-Vibrationen wieder aktuell. Zwar bestand seit dem Inkrafttreten des Arbeitsschutzgesetzes am 21.08.1996 bereits für alle Arbeitgeber die Pflicht, eine Gefährdungsbeurteilung auch unter Berücksichtigung von mechanischen Schwingungen durchzuführen [2], konkrete Zahlenwerte, an denen sich der Arbeitgeber orientieren konnte, waren jedoch Mangelware. Dies hat sich durch Festlegung von Auslöse- und Grenzwert für die Tagesexposition grundlegend geändert. Allein auf Basis der neuen Verordnung sind die Betreiber jedoch nicht in der Lage, eine umfassende Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Ihnen sind nun die Grenzwerte, aber im Normalfall nicht die Belastung der Arbeitnehmer, d.h. die tatsächliche Tagesexposition der Fahrer, bekannt.

Einen ersten Anhaltspunkt bieten einschlägige Datenbanken wie der „Katalog repräsentativer Lärm- und Vibrationsdaten am Arbeitsplatz“ (KarLA) des Landesamts für Arbeitsschutz Potsdam [3], die „Vibrations-Expositions-Datenbank“ (VIBEX) des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung [4] sowie branchenbezogene Gefährdungstabellen [5]. Zu beachten ist dabei aber die oft mangelnde Übertragbarkeit auf den eigenen Anwendungsfall, da nur ungenügend dokumentiert ist, welche Einsatzbedingungen bei der Messung vorlagen. Lediglich im Bereich des Baustoffgroßhandels liegen umfangreiche Messungen von Schäfer et al. an 26 Gabelstaplern aus den Jahren 2004 und 2005 vor. Bei den vorgefundenen betrieblichen Verhältnissen wurde der Auslösewert bei einer gemessenen mittleren Tagesexposition von $A(8) = 0,29 \text{ m/s}^2$ nicht erreicht [6]. Da die tatsächliche Belastung des Fahrers stark von den vor Ort herrschenden Einsatzbedingungen abhängt, können die erwähnten Quellen nur eine erste Hilfestellung bieten. Ein sicherer Nachweis kann zurzeit nur durch eine repräsentative Messung vor Ort geschehen. Stellt der Betreiber im Zuge der Gefährdungsanalyse durch Messung fest, dass Auslöse- oder Grenzwert überschritten werden, so steht er auf Grund von mangelnder Kenntnis über Ursache und Wirkung von Ganzkörper-Vibrationen vor dem Problem, nicht zu wissen, welche Maßnahmen zu ergreifen sind, um nicht nur die Einwirkungszeit und somit die Arbeitszeit der Fahrer reduzieren zu müssen.

Um dieser Tatsache Abhilfe zu schaffen, wird im Auftrag der Forschungsgemeinschaft Intra-logistik / Fördertechnik und Logistiksysteme (IFL) e.V. am Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der Technischen Universität München das Forschungsprojekt „Untersuchung der Humanschwingungen beim Betrieb von Flurförderzeugen“ durchgeführt, welches aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) gefördert wird. Ziel ist die systematische Analyse des Einflusses einzelner Parameter auf die Tagesexposition beim Betrieb von Flurförderzeugen und das Ableiten eines Verfahrens zur Bestimmung der Fahrerbelastung in definierten Grenzen bei bekannten Randbedingungen (Bild 1).



Bild 1: Angestrebtes Verfahren zur Abschätzung der Tagesexposition

Somit können nach erfolgter Messung mit Hilfe der erarbeiteten Systematik die Einsatzbedingungen auf Verbesserungspotential hin untersucht und optimiert werden. Zu diesem Zweck werden sechs ausgewählte Flurförderzeuge, darunter drei Gegengewichtsgabelstapler, ein Schubmaststapler und zwei Niederhubwägen, als Mehrkörpermodelle abgebildet, um mit Hilfe der numerischen Simulation die erwähnten Abhängigkeiten ermitteln zu können.

2. Einflussgrößen auf die Tagesexposition im Bereich der Flurförderzeuge

Fahrzeugvibrationen und die daraus resultierende Belastung des Fahrers sind beim Betrieb von Flurförderzeugen aller Art unvermeidlich. Im Bereich der betrachteten Gegengewichts- und Schubmaststapler sowie der Niederhubwägen können bei Betrachtung eines Arbeitsspiels die Betriebszustände „Heben“ (ca. 15%), „Leerlauf“ (58 %) und „Fahren“ (27 %) unterschieden werden [7].

Der Betriebszustand „Leerlauf“ mit dem größten Zeitanteil umfasst auch das Senken, Neigen und langsame Hantieren der Last. Ursache für die Vibrationen in diesem Zustand sind bei langsamer Bewegung des Fahrzeugs vor allem die eingebauten Antriebsaggregate. 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. Messungen an einem mit Dieselmotor angetriebenen Gegengewichtsgabelstapler mit einer Traglast von 3,5 t ergaben eine Belastung von $0,05 \text{ m/s}^2$ auf Grund der Motorschwingung. Auch das Heben von Lasten leitet im Normalfall keine solchen Stöße in das Flurförderzeug ein, dass eine Gefährdung vorliegt. Wesentlich problematischer ist der Betriebszustand Fahren, wenn das Gesamtsystem durch Beschleunigen und Bremsen oder Anregungen durch Bodenunebenheiten in Schwingung versetzt wird.

Im Gegensatz zum PKW oder Nutzfahrzeugen, wie dem LKW, zeichnen sich Flurförderzeuge durch eine sehr steife Fahrzeugstruktur aus. Sie besitzen im Normalfall nur eine sehr begrenzte Anzahl dämpfender Elemente, welche die durch den Boden eingeleiteten Vibrationen zu mindern vermögen (Bild 2). Die Konstruktion der Fahrzeuge dient vordergründig dem Ziel, Lasten zu transportieren.

Das erste kritische Bauteil stellt der Reifen (1) dar. Der bei Gegengewichtsgabelstaplern verwendete Superelastikreifen stellt einen Kompromiss zwischen möglicher Einfederung und Fahrstabilität dar. Die bei Geräten der Lagertechnik verwendeten Vulkollanrollen weisen fast keine schwingungsabsorbierenden Eigenschaften auf und leiten die Stöße direkt in die Fahrzeugstruktur weiter. Bei Fahrzeugen mit einer hinteren Pendelachse ist diese über zwei

wege mit Schlaglöchern, Dehnungsfugen, Unebenheiten und Höhenversätzen sind zu vermeiden. Ein schnelles Einfahren in die Last kann ebenso zu einer Stoßbelastung führen.

3. Grundlagenversuche

Ziel der Grundlagenversuche auf einer Teststrecke auf dem Forschungsgelände der Technischen Universität München ist zum einen die Erarbeitung einer breiten Messbasis für die Validierung der erstellten Mehrkörpermodelle. Zum anderen geben die Messergebnisse erste Auskunft über den Einfluss einzelner Parameter. Als Teststrecke dient eine ebene Betonfahrbahn, auf welcher in der Grundvariante in definiertem Abstand Schwellen der Höhe h aufgebracht werden (Bild 3). Dieser Aufbau richtet sich nach der DIN EN 13059 und dient zur Bestimmung des Schwingbeiwerts, welcher im Zuge der Maschinenrichtlinie vom Hersteller für jedes Flurförderzeug angegeben werden muss [9].

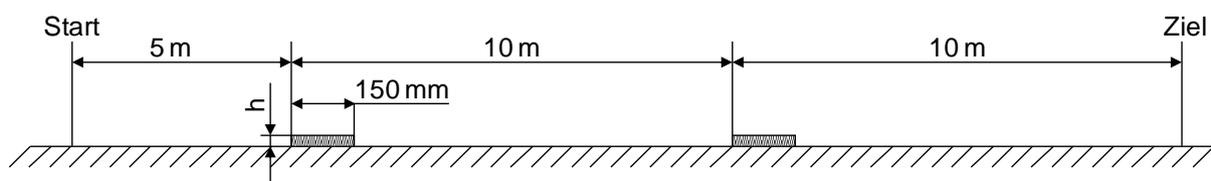


Bild 3: Aufbau der Versuchsstrecke für Gegengewichtsgabelstapler

Neben der Anregung durch Schwellen werden zusätzlich Versuche mit Sprungfunktionen (Auslegen von Platten zwischen den Schwellen) oder Fugen unterschiedlicher Breite durchgeführt (Bild 4). Bei den Versuchen werden neben dem Anregungsspektrum folgende Parameter variiert:

- Körpergewicht des Fahrers (80 und 100 kg)
- Geschwindigkeit
- Last (keine, halbe und volle Nennlast)
- Fahrrichtung
- Fahrersitz (drei mechanische gefederte Sitze unterschiedlicher Baugröße)

Die Beschleunigung wird neben den üblichen Messpunkten an Sitzbasis und Sitzkissen auch an anderen Stellen der Struktur, wie Lenkachse, Antriebsachse oder Gegengewicht, gemessen, um Auskunft über das Schwingungsverhalten des Gesamtsystems zu erhalten. Die Aufzeichnung der Daten erfolgt mit Hilfe eines handelsüblichen Notebooks und der Software LabView in Verbindung mit einem USB-Datenlogger. Die Berechnung der Kennwerte erfolgt

entweder während der Messung oder im Nachhinein mit der Software DIAdem. Für jede Parametereinstellung werden 3 – 5 Messungen durchgeführt und das arithmetische Mittel unter Berücksichtigung von Ausreißern gebildet.



Bild 4: Schwellenüberfahrt und Sprunganregung auf der Teststrecke des Lehrstuhls fml mit einem Schubmast- und einem Gegengewichtsgabelstapler

Im Folgenden sind die Ergebnisse des Versuchs der Schwellenüberfahrt bei Variation von Last und Geschwindigkeit für zwei Gegengewichtsgabelstapler mit einer Tragfähigkeit von 2,0 t und 3,5 t und einem Schubmaststapler mit einer Tragfähigkeit von 1,4 t dargestellt. Dabei werden in das System zwei Stöße eingeleitet, wobei die Frequenz von der Fahrgeschwindigkeit abhängt. Die Basis der Normierung der Ordinaten folgender Abbildungen ist identisch. Dargestellt ist jeweils der Effektivwert der bewerteten Beschleunigung a_w , welcher gemäß ISO 2631-1 bestimmt wird [10].

Betrachtet man zunächst den Messpunkt an der Sitzbasis in vertikaler Richtung, um den Einfluss von Fahrer und Sitz auszublenden, so ist zu erkennen, dass mit zunehmender Geschwindigkeit des Fahrzeugs die Schwingungsbelastung der Sitzbasis stark ansteigt, wobei die Last dämpfende Wirkung besitzt (Bild 5).

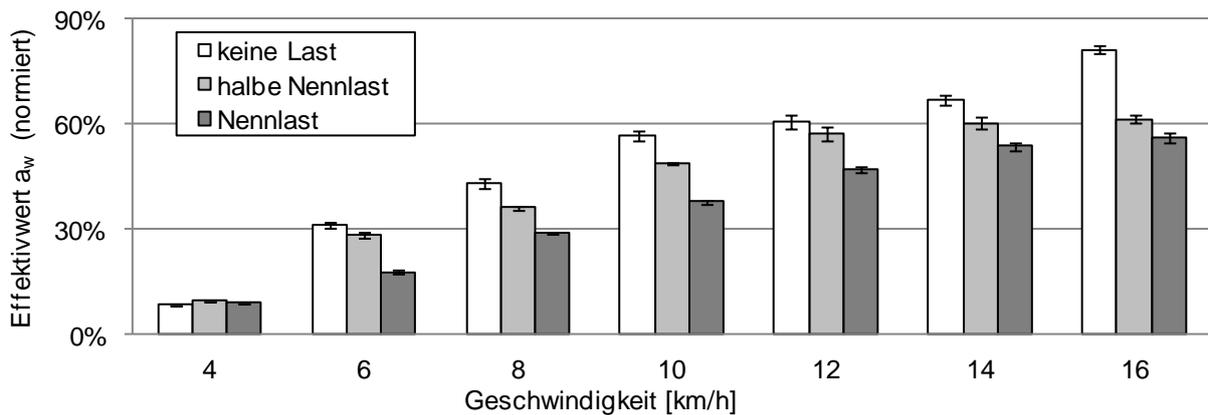


Bild 5: Normierte Effektivwerte a_w der Stoßbelastung, gemessen an der Sitzbasis in vertikaler Richtung (Gegengewichtsgabelstapler 2,0 t)

Bei Betrachtung der auf dem Sitzkissen gemessenen Beschleunigungen wird dieser Effekt durch den Einfluss von Fahrer und Sitz überlagert (Bild 6).

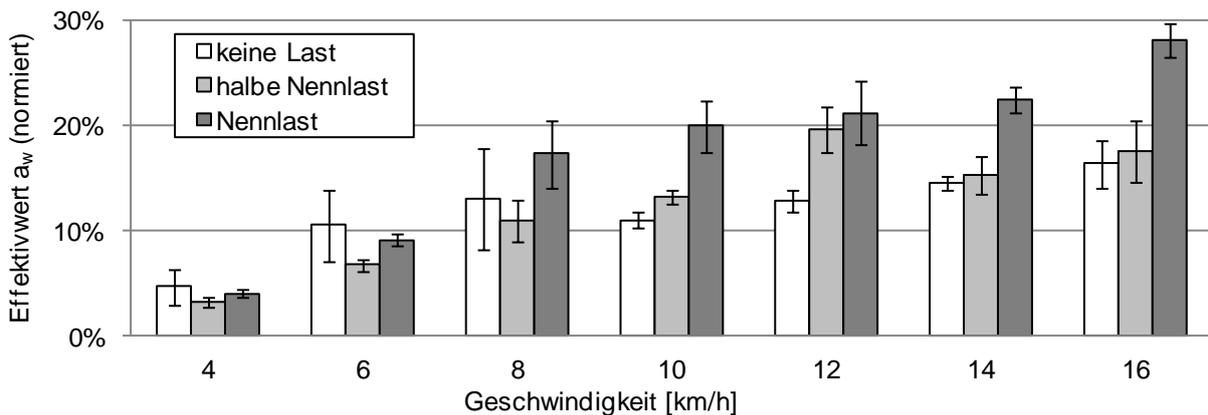


Bild 6: Normierte Effektivwerte a_w der Stoßbelastung, gemessen am Sitzkissen in vertikaler Richtung (Gegengewichtsgabelstapler 2,0 t)

Es ist weiterhin eine zunehmende Belastung des Fahrers mit steigender Geschwindigkeit identifizierbar, jedoch hat bei diesem Versuch die Last keinen dämpfenden Einfluss auf die am Fahrer gemessenen Beschleunigungen. Grund hierfür ist, dass die Last das Schwingungsverhalten des Gesamtsystems Gabelstapler verändert. Bei dem vorliegenden Fahrzeug führt dies dazu, dass sich mit zunehmender Last ein dominierender Frequenzanteil der in den Sitz eingeleiteten Beschleunigungen der Eigenfrequenz des Sitzes nähert. Eine höhere Beschleunigung am Sitzkissen ist die Folge.

Der dämpfende Einfluss der Last macht sich vor allem bei Flurförderzeugen bemerkbar, bei welchen die Last über das verhältnismäßig elastische Hubgerüst an das System gekoppelt

ist, wie es bei Gegengewichtsgabelstaplern der Fall ist. Bei Geräten der Lagertechnik mit steiferer Ankopplung und kleinerem Ölkreislauf, wie z.B. beim Schubmaststapler, ist dieser Einfluss nur gering (Bild 7).

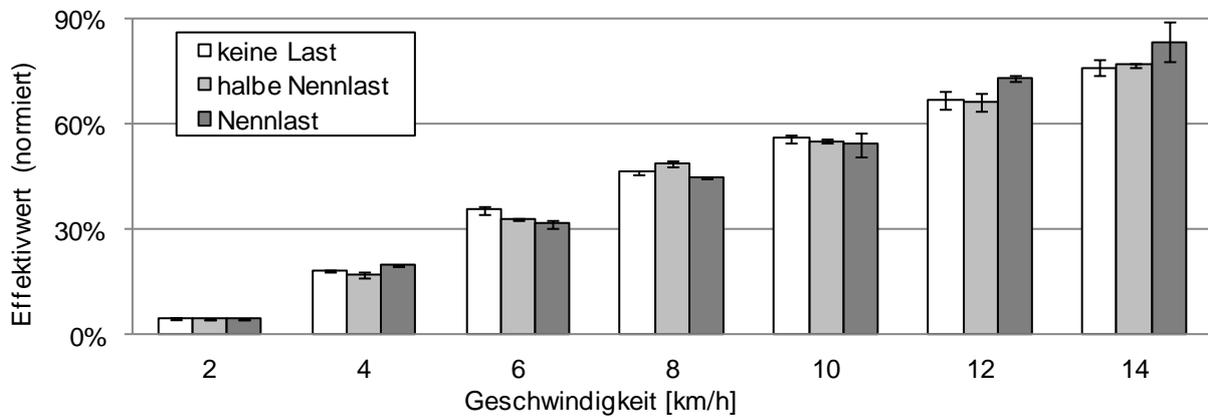


Bild 7: Normierte Effektivwerte a_w der Stoßbelastung, gemessen an der Sitzbasis in vertikaler Richtung (Schubmaststapler 1,4 t)

Bei reiner Betrachtung der genormten Schwellenüberfahrt ist zu beachten, dass jeder Gabelstapler durch das Zusammenspiel von Reifen, Hubgerüst und Eigengewicht baulich bedingt andere Eigenfrequenzen besitzt. So können durch Schwellenüberfahrt oder zweimalige Sprunganregung durch Platten Eigenfrequenzen angeregt werden, so dass eine deutlich höhere Belastung bei einer fahrzeugspezifischen kritischen Geschwindigkeit eintritt. Bild 8 zeigt zur Verdeutlichung die Effektivwerte a_w an der Sitzbasis bei einem Gegengewichtsgabelstapler mit einer Tragfähigkeit von 3,5 t bei Sprunganregung. Der Effekt ist auch bei Betrachtung der Effektivwerte am Sitzkissen in vertikaler Richtung zu erkennen.

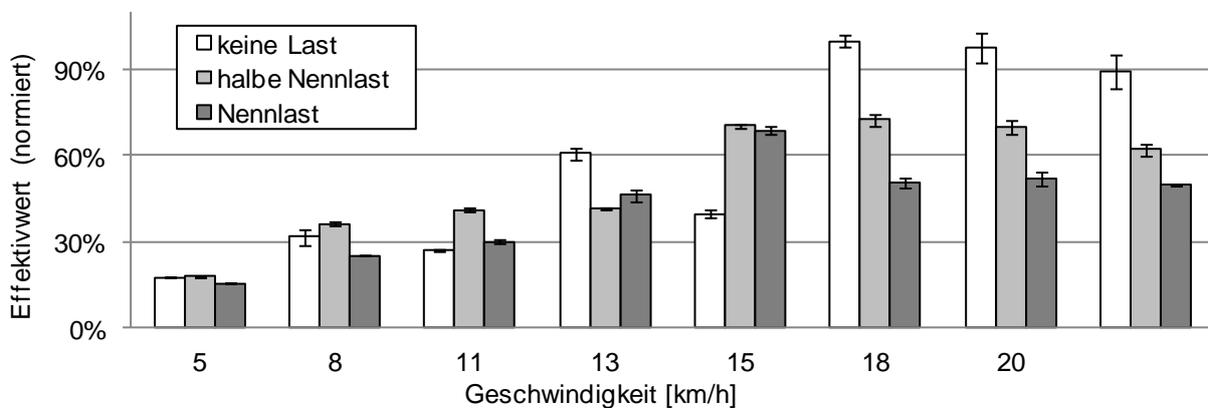


Bild 8: Normierte Effektivwerte a_w der Sprunganregung, gemessen an der Sitzbasis in vertikaler Richtung (Gegengewichtsgabelstapler 3,5 t)

Bei allen durchgeführten Versuchen zeigt sich, dass bei gegebenen Randbedingungen wie Fahrzeugtyp, Sitz, Last und Streckenprofil die Geschwindigkeit einen sehr hohen Einfluss auf die Belastung des Fahrers besitzt.

Schwankungen bei Messungen lassen sich oft dadurch erklären, dass die Fahrer eine unterschiedliche Haltung einnehmen. Die Messung nach ISO 2631-1 [10] erfasst den an der Haupteinleitungsstelle erfassten Schwingungsanteil. Da sich der Fahrer unweigerlich am Lenkrad abstützt, verringert sich die ermittelte Tagesexposition um den über das Lenkrad eingeleiteten Anteil. Bild 9 zeigt eine Messreihe mit zwei unterschiedlichen Körperhaltungen bei einem Gegengewichtsgabelstapler mit Traglast 3,5 t bei Sprunganregung. Dementsprechend ist auch bei Messungen im Unternehmen im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung auf die Einhaltung der Körperposition zu achten.

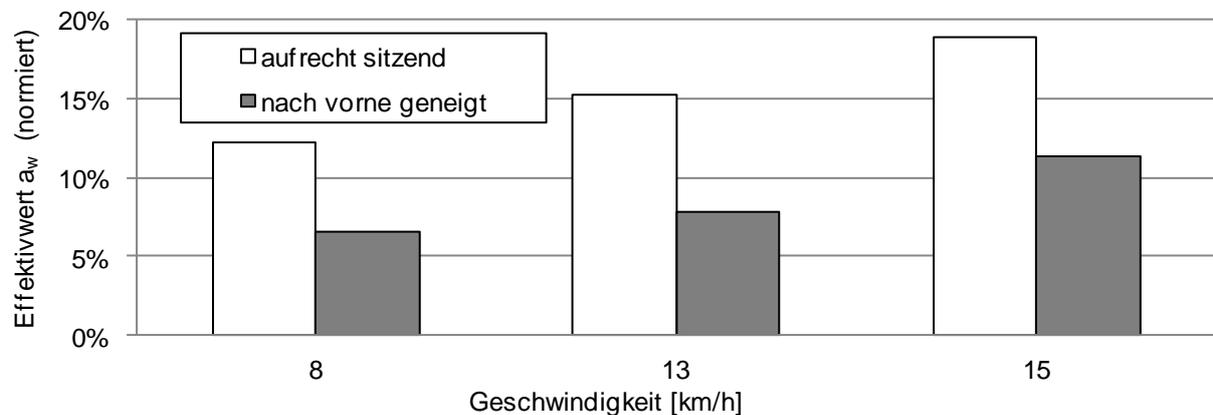


Bild 9: Normierte Effektivwerte a_w der Sprunganregung, gemessen am Sitzkissen in vertikaler Richtung (Gegengewichtsgabelstapler 3,5 t)

4. Mehrkörpersimulationsstudie

Eine ausgiebige Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Parameter erfolgt im Rahmen des Forschungsprojekts mit Hilfe der numerischen Mehrkörpersimulation. Beim Aufbau der einzelnen Mehrkörpermodelle in der Simulationsumgebung MSC.ADAMS/View wird Wert auf die hinreichend genaue Abbildung aller Komponenten der Übertragungskette gelegt. Die verschiedenen starren Baugruppen, wie Fahrzeugchassis samt Gegengewicht, Fahrerkabine, Antriebs- und Lenkachse sowie die Bestandteile des Hubgerüsts, werden mit Hilfe von Krafterelementen gekoppelt. Die charakteristischen Eigenschaften der Koppellemente (z. B. Gummilager) werden in geeigneten Funktionsgleichungen hinterlegt.

Die Steifigkeit der eingebauten Gummilager kann aus Datenblättern entnommen oder mit Hilfe von Prüfstandsversuchen ermittelt werden. Die als linear annehmbaren

Nachgiebigkeiten der Hydraulikzylinder im Zusammenspiel mit dem gesamten Ölkreislauf werden durch quasistatische Messungen für die relevanten Hubhöhen bestimmt (Bild 10).

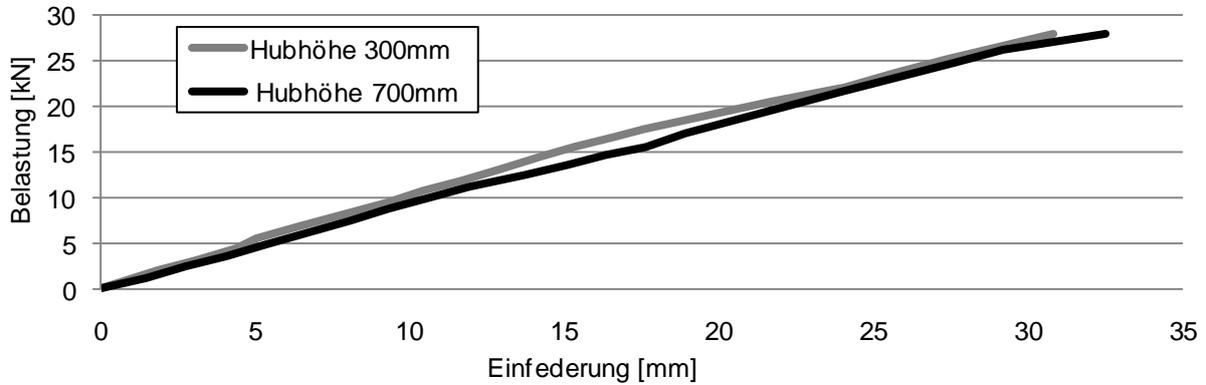


Bild 10: Nachgiebigkeit eines Freihubzylinders bei einem Schubmaststapler in Abhängigkeit der Hubhöhe

Um auch in der Simulation die Tagesexposition nach Norm ermitteln zu können, müssen der Sitz sowie der Fahrer abgebildet werden. Im Rahmen des Forschungsprojekts werden drei mechanisch gefederte Sitze in die Simulation integriert. Zur Erstellung des Teilmodells Sitz werden Steifigkeit und Dämpfung des Sitzunterbaus auf Grund der eingebauten Sitzfeder und des Dämpfers in vertikaler Richtung für verschieden eingestellte Fahrergewichte sowie die Steifigkeit des Polsters im Rahmen von Prüfstandsversuchen ermittelt. Die mechanische Feder in Kombination mit der Scherenkinematik des Sitzaufbaus weisen bei den untersuchten Sitzen eine lineare Steifigkeit auf, wobei am Ende des Federwegs zusätzlich Anschlagpuffer zu berücksichtigen sind (Bild 11).

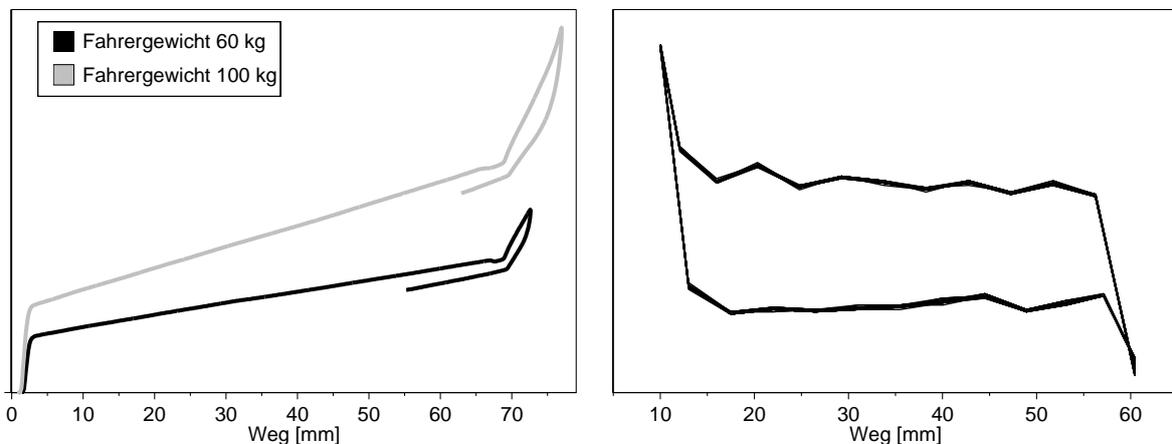


Bild 11: Kraft-Weg-Diagramm des gesamten Sitzunterbaus bei unterschiedlich eingestelltem Sitzgewicht (links) und Kraft-Weg-Diagramm des eingebauten Dämpfers (rechts)

Neben den Druckversuchen werden dynamische Messungen mit stochastischen Prüf-Erregerschwingungen nach DIN EN 13490 zur Bestimmung der Sitzübertragungsfunktion sowie mit einem Sinus-Sweep zur Bestimmung der Sitzeigenfrequenz mit jeweils fester Prüfmasse durchgeführt. Die drei Sitze weisen Eigenfrequenzen von 0,7 – 2,1 Hz sowie SEAT-Werte zwischen 0,3 und 0,7 auf. Zusätzlich wird der Sitz samt zwei unterschiedlich schwerer Probanden mit einem Sinus-Sweep in Längs- und Querrichtung zur Bestimmung der scheinbaren Masse angeregt. Da in der Realität an der Schnittstelle zwischen Mensch und Sitz die Exposition zu ermitteln ist, muss auch der Fahrer in der Simulation abgebildet werden. Im Zuge dieser Untersuchungen wird hierbei auf das Ersatzmodell der DIN 45676 zurückgegriffen, welches die scheinbare Masse des Menschen in vertikaler Richtung abbildet [11].

Einen weiteren wichtigen Aspekt stellt die Schnittstelle des Fahrzeugs zum Boden dar. Um ein breites Spektrum an Bodenprofilen bei unterschiedlichen Fahrspielen untersuchen zu können, wurde das Reifenmodell FTire eingesetzt [12], welches in seinem Verhalten an Superelastik- und Vulkollanreifen angepasst wurde. Dieses besitzt auch für höherfrequente Anregungen Gültigkeit, wie sie z.B. bei der Überfahrt von Schwellen vorliegen. Durch die Verwendung standardisierter Straßenbeschreibungen können sowohl Einzelhindernisse, wie Schwellen und Fugen, als auch stochastische Unebenheiten in der Simulation abgebildet werden. Auf Basis der Arbeit von Schuknecht et al. können für unterschiedliche Bodenbeläge wie Asphalt oder Beton in unterschiedlicher Güte [13] computergestützt Fahrbahnen erzeugt werden [14].

Bild 12 zeigt das Mehrkörpermodell eines Gegengewichtsgabelstaplers bei Schwellenüberfahrt auf unebenem Boden.



Bild 12: Mehrkörpermodell eines Gegengewichtsgabelstaplers bei Schwellenüberfahrt

Die einzelnen Mehrkörpermodelle werden mit den Messergebnissen aus den Grundlagenversuchen validiert. Im Anschluss wird im Rahmen einer umfangreichen Parameterstudie der Einfluss einzelner Parameter auf die Tagesexposition herausgearbeitet. Bild 13 zeigt hierfür stellvertretend den qualitativen Einfluss der Schwellenhöhe auf den Effektivwert der Sitzbasis bei Schwellenüberfahrt nach DIN EN 13059 [9] bei zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten.

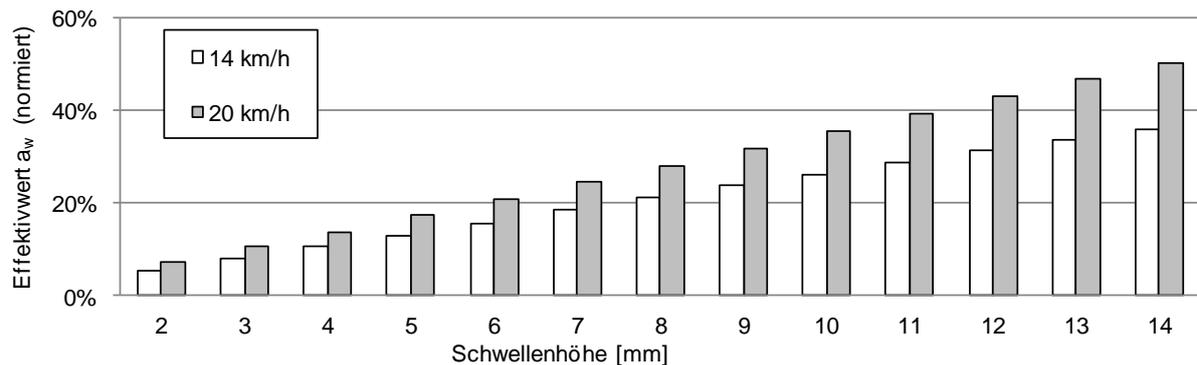


Bild 13: Normierte Effektivwerte a_w der Stoßbelastung, berechnet an der Sitzbasis in vertikaler Richtung bei unterschiedlichen Schwellenhöhen (Gegengewichtsgabelstapler 3,5 t)

5. Zusammenfassung und Ausblick

Beim Betrieb von Flurförderzeugen ist eine Belastung der Fahrer durch Ganzkörper-Vibrationen unvermeidlich. Da die Höhe der Belastung von einer Vielzahl an Parametern wie z.B. des verwendeten Sitzes, der Fahrgeschwindigkeit oder der Beschaffenheit der Fahrstrecke abhängt, ist eine verlässliche Abschätzung für den Betreiber nur selten möglich. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Untersuchung der Humanschwingungen beim Betrieb von Flurförderzeugen“ wird am Lehrstuhl fml der Technischen Universität München ein Verfahren zur Abschätzung der Tagesexposition bei bekannten Randbedingungen durch den Einsatz der Mehrkörpersimulation entwickelt. Anhand von Grundlagenversuchen konnte bereits der Einfluss von Last und Geschwindigkeit auf die Fahrerbelastung sichtbar gemacht werden. Mit Hilfe der für sechs unterschiedliche Flurförderzeuge erstellten Mehrkörpermodelle wird die Belastung des Fahrers in der numerischen Simulation für unterschiedliche Randbedingungen ermittelt. Die Simulationsergebnisse werden im Anschluss in ein Rechentool für die Offline-Auswertung der zu erwarteten Fahrerbelastung überführt. Mit Hilfe des Rechentools soll es möglich sein, durch Kombination unterschiedlicher Streckenprofile Einsatzszenarien nachbilden und die Fahrerbelastung hierbei abschätzen zu können.

Literaturhinweise

- [1] Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Verordnung zur Umsetzung der EG-Richtlinien 2002/44/EG und 2003/10/EG zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen. Bundesgesetzblatt 2007 Teil I Nr. 8
- [2] Mohr, D.: Die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutz-Verordnung in der Praxis. Human-schwingungen VDI-Berichte Nr. 2002, S. 3-28, Dresden: VDI Verlag 2007
- [3] Landesamt für Arbeitsschutz Potsdam: Katalog repräsentativer Lärm- und Vibrations-daten am Arbeitsplatz. 2009, <http://www.las-bb.de/karla/>
- [4] Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung: Vibrations-Expositions-Datenbank VIBEX. Aus der Arbeit des BGIA (2009) 82
- [5] Landesamt für Arbeitsschutz Potsdam: Ganzkörper-Vibrationen: Orientierungswerte für Gefährdungsbeurteilung. 2009, http://bb.osha.de/docs/branchenliste_gkv.xls
- [6] Schäfer, K.; Schick, R.; Rokosch, F.; Becker, C.: Branchenspezifische Ermittlung von Ganzkörpervibrationen: Hilfen für die betriebliche Praxis. Zentralblatt für Arbeitsmedi-zin, Arbeitsschutz und Ergonomie 57 (2007) 6 S. 146-157
- [7] DIN EN 12053: Sicherheit von Flurförderzeugen - Verfahren für die Messung der Ge-räuschemission. Berlin: Beuth Verlag 2009
- [8] Polster, A.: Der Fahrersitz - Schnittstelle zwischen Mensch und Flurförderzeug - im Fokus auf Gesundheit, Motivation und Effizienz. 7. Hamburger Staplertagung, Ham-burg 2008
- [9] DIN EN 13059: Sicherheit von Flurförderzeugen - Verfahren zur Schwingungsmessun-gen. Berlin: Beuth Verlag 2002
- [10] International Organization for Standardization: ISO 2631-1: Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Berlin: Beuth Ver-lag 1997
- [11] DIN 45676: Mechanische Eingangsimpedanzen und Übertragungsfunktionen des menschlichen Körpers. Berlin: Beuth Verlag 2003
- [12] Gipser, M.: Reifensimulation mit FTire: Stand und Ausblick. 15. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, Aachen, 2006
- [13] Mitschke, M.; Wallentowitz, H.: Dynamik der Kraftfahrzeuge. Berlin: Springer 2004
- [14] Schuknecht, F.; Schulze Lammers, P.; Uffelmann, F.; Walter, W.-D. et al.: Messung von Nutzfahrzeugschwingungen auf der Straße - Nachbildung der Fahrbahnebenenhei-ten am Prüfstand und Berechnungsverfahren für die Computersimulation. VDI Berichte 877, S. 119-134, Düsseldorf: VDI Verlag 1991