

Schwingungsbelastung der Fahrer und Beifahrer beim Fahren von Lastkraftwagen und Sattelkraftfahrzeugen

Whole-body vibration exposure of drivers and co-drivers of lorries and articulated lorries

D. Sayn, B. Göres, C. Böser, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Sankt Augustin

Abstract

Whole-body vibration exposures of lorries and articulated lorries have been measured for a broad variety of vehicle types. For the exposure conditions in this study it is unlikely that the action value of the European Vibration Directive (2002/44/EC) is reached for exposure durations of eight to ten hours. However, for exposure durations of 19 hours ('multi-manning'), the action value is reached in the majority of cases. The attenuation systems of the drivers' seats lead to a reduced exposure on the seat surface compared to the co-drivers' seats without attenuation systems. The spectral structure of the acceleration measured at the seat mounting points differs from the test spectra of a seat testing standard.

1. Einleitung

In dieser Messreihe sind auf Initiative der Berufsgenossenschaft Verkehr und der Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik die Schwingungsbelastungen beim Fahren von Lastkraftwagen und Sattelkraftfahrzeugen untersucht worden. Ziel der Studie ist es gewesen, repräsentative Belastungswerte für die Gefährdungsbeurteilung nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [1] zu erhalten. Nach vorhandenen Datenquellen [2] kann die Belastung bei einer Einwirkungsdauer von acht Stunden sowohl unter- als auch über dem Auslösewert nach [1] liegen, der eine Grenze darstellt, ab der Arbeitgeber verpflichtet sind, weitere Vibrations-Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

Neben den Belastungen auf den Fahrersitzen sollten auch Belastungen auf den Beifahrersitzen untersucht werden, denn nach EU-Verordnung 561/2006 über Lenk- und Ruhezeiten [3] ist es bei einer Zwei-Fahrerbesatzung möglich, die tägliche Einwirkungsdauer auf 19 Stunden (10 Stunden Beifahrersitz / 9 Stunden Fahrersitz) auszudehnen.

Schließlich sollten auch die Schwingungsanregungen am Sitzmontagepunkt untersucht werden, um das Dämpfungsverhalten der Sitze zu beschreiben und so Hinweise für die Sitzprüfung geben zu können [4].

2. Methoden

2.1 Betriebsbedingungen – Studienstichprobe

In dieser Arbeit werden Ergebnisse vorgestellt, die an Lastkraftwagenzügen (LKW) und Sattelkraftzügen (SZ) mit einem zulässigen Gesamtgewicht von etwa 40 t erhoben worden sind, wobei die Zugmaschinen ein zulässiges Gesamtgewicht über 16 t haben. Insgesamt sind 22 LKW und 16 SZ aus 20 Betrieben untersucht worden.

Tabelle 1: Lastkraftwagenzüge: Fahrzeugtypen und Aufbauarten

Hersteller	Typ	Aufbauart
DAF	AE 105.510 XF	Lkw Zug mit offenem Kasten / Kipper
Iveco-Magirus	Stralis 430 A1SY	Lkw-Wechselbrückenzug mit Plane und Spriegel
Iveco-Magirus	Trakker 450	Lkw mit Kipperaufbau
Iveco-Magirus	Trakker 440	Lkw mit Kipperaufbau
Iveco-Magirus	Trakker 440 (T2L)	Lkw-Zug mit Kipperaufbau
MAN	T 460 A (TGA 03)	Lkw-Zug mit Plane und Spriegel
MAN	TGS 35.440 8x4 BB	Lkw mit Kipperaufbau
MAN	TGS 35.440 8x4 BB	Lkw mit Kipperaufbau
MAN	TGS 26.540 6x4 H-2BL	Lkw-Zug mit offenem Kasten und Ladekran
Mercedes Benz	Actros 2541 (930.21)	Kurzkuppelzug mit Plane und Spriegel
Mercedes Benz	Actros 1841 L (930.05)	Autotransporter
Mercedes Benz	Actros 1841 L (930.05)	Autotransporter
Mercedes Benz	Actros 1843 (950.03)	Lkw-Zug mit Plane und Spriegel
Mercedes Benz	Actros 3241 B 8x4/4 (933.30)	Fahrmischer für Transportbeton
Mercedes Benz	Actros 3241 B 8x4/4 (933.30)	Fahrmischer für Transportbeton
Mercedes Benz	Actros 1846 (930.03)	Lkw Zug für Absetzcontainer
Mercedes Benz	Actros 2548 (936-0-C)	Lkw Kurzkuppelzug mit Plane und Spriegel
Mercedes Benz	Axor 2126 (950.53)	Lkw mit geschlossenem Kofferaufbau
Mercedes Benz	Atego 2126 (976.X7)	Lkw mit geschlossenem Kofferaufbau
Scania	R420 LB 6x2 MNB	Lkw mit Wechselbrückenaufbau mit offenem Kasten
Scania	Scania R114	Lkw mit offenem Kasten und Ladekran
Volvo	FM 410 4x2R	Lkw (-Zug) mit Tankaufbau für Milchtransport

Die Fahrzeuge sollten während des normalen Betriebsablaufs untersucht werden, und die Messdauern sollten lang genug sein, um den Betriebsablauf zu erfassen, dessen überwiegender Teil aus Leer- und Lastfahrten auf öffentlichen Straßen in Deutschland bestehen

sollte. Dabei ist jedes Fahrzeug von einem anderen Fahrer der Betriebe gefahren worden, während der Beifahrer vom Messpersonal gestellt worden ist.

Darüber hinaus sind Fahrzeuge verschiedener Fahrzeugtypen und Aufbauarten untersucht worden, um einen möglichen Einfluss auf die Schwingungsbelastung feststellen zu können (Tabelle 1 für LKW und Tabelle 2 für SZ). Die Baujahre der Fahrzeuge liegen zwischen 2000 und 2013.

Alle untersuchten Fahrzeuge haben in ihren Fahrersitzen für die vertikale Richtung ein Luftfeder-Öldämpfer-System zur Schwingungsdämpfung eingebaut. Davon haben 12 Fahrersitze auch ein Federsystem in Längsrichtung. Federsysteme in Querrichtung sind nicht eingebaut gewesen. Die Beifahrersitze hingegen sind überwiegend Polstersitze und haben nur in vier Fällen ebenfalls ein Luftfeder-Öldämpfer-System in der vertikalen Richtung.

Tabelle 2: Sattelkraftzüge: Fahrzeugtypen und Aufbauarten

Hersteller	Typ	Aufbauart
DAF	TE 95 XF (95.480)	Sattelkraftfahrzeug mit Plane und Spriegel
MAN	TGX 18.480 4x2 BLS	Sattelkraftfahrzeug mit Siloaufbau
MAN	TGA 26.480 6x4 BB	Langholztransporter
Mercedes Benz	Axor 1840 (944.03)	Sattelkraftfahrzeug mit Plane und Spriegel
Mercedes Benz	Actros 1844 LS (934.03)	Sattelkraftfahrzeug mit Tankaufbau
Mercedes Benz	Actros 1844 LS (934.03)	Sattelkraftfahrzeug mit Tankcontainer
Mercedes Benz	Actros 1841 LS (934.05)	Autotransporter
Mercedes Benz	Actros 2660 L 6x4 (930.24)	Langholztransporter
Mercedes Benz	Actros 3353 (954.16)	Sattelkraftfahrzeug mit Kipperaufbau und Tieflader
Mercedes Benz	Actros 1845 (963-4-A)	Sattelkraftfahrzeug mit Kofferaufbau (Schubboden)
Renault	Premium Route DXI44-450	Sattelkraftfahrzeug mit Kipperaufbau
Renault	Magnum DXi 480	Sattelkraftfahrzeug mit Kipperaufbau
Scania	R500 LA 4x2 MNA	Sattelkraftfahrzeug mit Tankaufbau für Milchtransport
Volvo	FH-520	Langholztransporter
Volvo	NH 4x2T	Sattelkraftfahrzeug mit Kipperaufbau
Volvo	FM/FH 500 4x2T	Sattelkraftfahrzeug mit Tankaufbau für Milchtransport

2.2 Schwingungsbelastung Fahrer

Die Schwingungsbelastung ist normgerecht auf der Grundlage der Richtlinie VDI 2057-1:2002 [5] gemessen worden. Für die Messaufgaben haben die Messgeräte die Anforderungen der DIN EN ISO 8041:2005 [6] erfüllt. Die Messergebnisse sind energieäquivalente Mittelwerte der frequenzbewerteten Beschleunigungen $a_{we,\{x, y, z\}}$ in den drei Schwingungsrichtungen $l=\{x, y, z\}$.

$$a_{we,l} = \left(\frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} a_{we,l}^2(t) dt \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

In Gleichung (1) ist T_M die Messdauer und t die Zeitvariable.

Wenn die Messwerte $a_{we,l}$ auf den Sitzflächen unter repräsentativen Bedingungen erhoben worden sind, können sie benutzt werden, um nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [1] in die Bewertung von Arbeitsplätzen einzugehen.

Damit die Messwerte dieser Messreihe auf andere Arbeitsplätze übertragen werden können, ist es notwendig, dass die Betriebsbedingungen der anderen Arbeitsplätze mit denen in dieser Studie (Abschnitt 2.1) übereinstimmen. Dies ist besonders bei sogenannten „branchenspezifischen Messwerten“ möglich [7]. Dabei sind innerhalb einer „Branche“ die Betriebsbedingungen so festgelegt, dass bei Messreihen mit 10 bis 20 Messungen die zugehörigen Messwerten $a_{we,l}$ eine Standardabweichung von weniger als $0,1 \text{ m/s}^2$ aufweisen.

Die Messwerte $a_{we,l}$ müssen in einem zweiten Schritt mit den Einwirkungsauern T zu Tages-Schwingungsbelastungen $A_l(8)$ kombiniert werden:

$$A_l(8) = \left(\frac{1}{8h} \sum_i (k_l a_{we,li})^2 T_i \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Dabei sind k_l dimensionslose Konstanten ($k_x = k_y = 1,4$; $k_z = 1,0$), und die Summe in Gleichung (2) läuft über i Belastungsabschnitte. In diesem Bericht sind besonders die Fälle wichtig, in denen der Fahrer an einem Tag nur einer der gemessenen Belastungen ausgesetzt ist ($i = 1$), oder zwei Fahrer sich abwechseln, und Belastungen auf dem Fahrer und Beifahrersitz eines Fahrzeugs ausgesetzt sind ($i = 2$).

Von den Tages-Schwingungsbelastungen in den drei Raumrichtungen wird diejenige ausgewählt, die die größte Belastung darstellt. Diese Tages-Schwingungsbelastung wird dann Tages-Vibrationsexpositionswert genannt $A(8)$ [1], mit dem die Arbeitsplätze bewertet werden müssen. In dieser Arbeit ist vor allem der Auslösewert (in x-, y- und z-Richtung $A_{aus,l} = 0,50 \text{ m/s}^2$) von Bedeutung, bei dessen Erreichen Vibrations-Schutzmaßnahmen ergriffen werden müssen.

2.3 Dämpfungseigenschaften Sitz

Für die Arbeitsplatzbewertung ist der Messpunkt auf der Fahrersitzfläche entscheidend. Um die Dämpfungseigenschaften der Sitze zu untersuchen, ist es darüber hinaus notwendig zu wissen, welchen Schwingungsanregungen der Sitz am Sitzmontagepunkt ausgesetzt ist. Dabei beschreibt der Sitzübertragungsfaktor $SEAT_l$ das Dämpfungsverhalten des Sitzes. Er wird gebildet, indem für dieselbe Messdauer der Messwert $a_{we,l}$ auf der Sitzfläche durch den Messwert $a_{we,l}$ am Sitzmontagepunkt dividiert wird.

$$SEAT_l = \frac{a_{\text{Sitzfläche}}}{a_{\text{Montagepunkt}}} \quad (3)$$

Falls der Sitz die Schwingungen verstärkt, ist $SEAT_l$ größer als 1,0. Falls er sie dämpft, ist $SEAT_l$ kleiner als 1,0.

Schließlich liefert die spektrale Leistungsdichte der unbewerteten Beschleunigung $PSD_l(f)$ am Sitzmontagepunkt in Richtung l Informationen darüber, wie das Beschleunigungssignal $a(t)$ von der Frequenz f abhängt.

$$PSD_l(f) = \frac{2}{T_M} E[|A(f)|^2] = \frac{2}{T_M} E[|\mathcal{F}(a(t))|^2] \quad (4)$$

Dabei wird der Erwartungswert auf der rechten Seite von Gleichung (4) über das Betragsquadrat des fouriertransformierten, unbewerteten Beschleunigungssignals $\mathcal{F}(a(t))$ gebildet. Die Eigenschaften der Feder-Dämpfer-Systeme der Fahrersitze müssen auf die Frequenzzusammensetzung von $a(t)$ abgestimmt sein, um die Schwingungen dämpfen zu können. Außerdem wird das Dämpfungsverhalten von Sitzen anhand von Prüfanregungen getestet, die sich aus gemessenen Leistungsdichten $PSD_l(f)$ zusammensetzen. Somit können die hier gemessenen $PSD_z(f)$ genutzt werden, um zu überprüfen, ob die Prüfanregungen in [4] noch aktuell sind.

3. Ergebnisse

3.1 Schwingungsbelastung Fahrer und Beifahrer

Die Messdauern in dieser Messreihe betragen im Mittel 2,8 Stunden, was ausgereicht hat, um die tägliche Schwingungsbelastung repräsentativ zu erfassen. Im Mittel setzen sich die Messdauern zu 90 % aus Fahrten auf öffentlichen Straßen und zu 10 % aus Fahrten auf anderen Fahrbahnen zusammen. Andere Fahrbahnen können Betriebshöfe, Baustellen, Waldwege etc. sein. Ausnahmen davon stellen fünf Messungen von Langholztransportern und LKW im Baustellenbereich dar (Kipperaufbau, Absetzkontainer), bei denen der Anteil der Messdauer auf Waldwegen und Baustellen zwischen 18 % und 55 % beträgt.

In Bild 1 ist für jede Messung das größte Produkt $k_l a_{\text{we},l}$ aus den drei Richtungen l angegeben, weil es nach Gleichung (2) für den $A(8)$ ausschlaggebend ist. Bei den LKW ist bei 10 Messungen die y-Richtung ausschlaggebend gewesen, in 12 Fällen die z-Richtung. Bei den SZ ist in sechs Fällen die x- oder y-Richtung ausschlaggebend und bei 10 Messungen die z-Richtung.

Die Mittelwerte liegen sowohl für die LKW als auch für die SZ bei $0,34 \text{ m/s}^2$, und 75 % von $\max\{k_l a_{\text{we},l}\}$ liegen bei den LKW (SZ) unterhalb von $0,37 \text{ m/s}^2$ ($0,35 \text{ m/s}^2$) (75. Perzentil).

Wenn nur die gemessenen Schwingungsbelastungen vorliegen, erreichen Fahrer nur in zwei Fällen den Auslösewert innerhalb von 10 Stunden: Bei der Messung mit $k_y a_{we,y} = 0,48 \text{ m/s}^2$ ist ein LKW-Absetzkipper zu 20 % der Messzeit auf Baustellengeländen gefahren. Bei der Messung $k_z a_{we,z} = 0,52 \text{ m/s}^2$ ergibt sich der Messwert aus einer ungewöhnlich hohen Verstärkung des Sitzes (Abschnitt 3.2).

Es lassen sich keine Gruppen anhand von Einsatzbedingungen, Aufbauarten oder Herstellern bilden. Außerdem betragen die Standardabweichungen $0,07 \text{ m/s}^2$ (LKW) und $0,06 \text{ m/s}^2$ (SZ), womit für jede Gruppe das Kriterium für „branchenspezifische Messwerte“ [7] erfüllt ist. Dasselbe gilt auch, wenn man die Einsatzbedingungen erweitert und die Werte für LKW und SZ zusammenfasst (Kreuze in Bild 1): Der Mittelwert beträgt $0,34 \text{ m/s}^2$, die Standardabweichung $0,06 \text{ m/s}^2$ und 75 % aller $\max\{k_l a_{we,l}\}$ liegen unterhalb von $0,36 \text{ m/s}^2$.

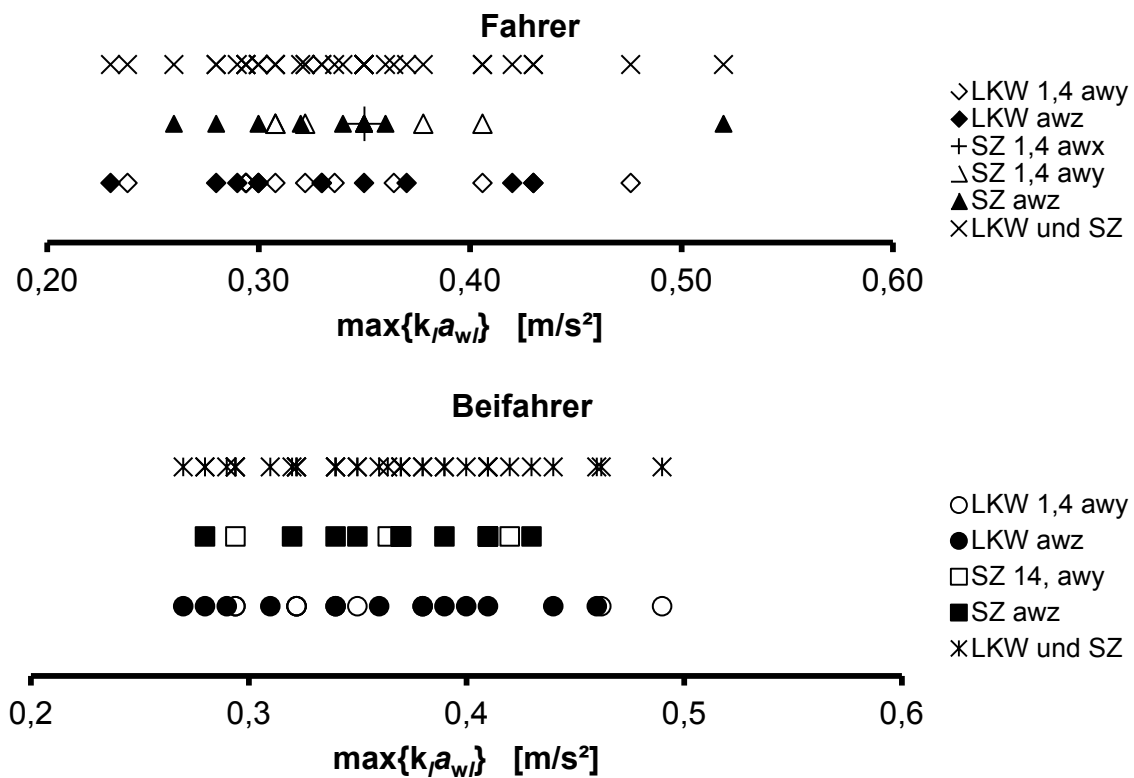


Bild 1: Maximalwerte der Produkte $\max\{k_l a_{we,l}\}$ die für den A(8) ausschlaggebend sind. Fahrersitzflächen (oben) Beifahrersitzfläche (unten)

Da die Beifahrersitze nur bei vier Messungen ein Feder-Dämpfer-System in z-Richtung haben, fallen die Messwerte in z-Richtung in der Tendenz höher aus als bei den Fahrersitzen (Abschnitt 3.2). Daher ist auch bei den Beifahrersitzen bei insgesamt 26 Messungen die z-

Richtung ausschlaggebend für den $A(8)$, während es bei den Fahrersitzen 22 Messungen sind. Dies zeigt sich auch in den Mittelwerten, die mit $0,36 \text{ m/s}^2$ (LKW) und $0,36 \text{ m/s}^2$ (SZ) leicht höher ausfallen als für die Fahrersitze. Auch das 75. Perzentil liegt mit $0,40 \text{ m/s}^2$ (LKW) und $0,41 \text{ m/s}^2$ (SZ) höher als bei den Fahrersitzen.

Auch bei den Beifahrersitzen lassen sich keine weiteren Gruppen bilden, und die Standardabweichungen erfüllen mit $0,06 \text{ m/s}^2$ (LKW) und $0,05 \text{ m/s}^2$ (SZ) das Kriterium der „branchenspezifischen Messwerte“ [7]. Fasst man alle $\max\{k_l a_{we,l}\}$ der Beifahrersitze zusammen ergibt sich ein Mittelwert von $0,34 \text{ m/s}^2$, eine Standardabweichung von $0,06 \text{ m/s}^2$ und 75 % aller $\max\{k_l a_{we,l}\}$ liegen unterhalb von $0,41 \text{ m/s}^2$.

Bei drei Schwingungsbelastungen auf der Beifahrersitzfläche kann der Auslösewert innerhalb von 10 Stunden erreicht werden: einmal in z-Richtung und zweimal in y-Richtung. In allen Fällen handelt es sich um Fahrzeuge, die auf Baustellen und in Steinbrüchen gefahren sind.

Während bei der Fahrt mit einem Fahrer das Erreichen des Auslösewerts die Ausnahme darstellt, führt die höhere Einwirkungsdauer bei der Zwei-Fahrerbesetzung dazu, dass der Auslösewert bei der Schwingungsbelastung von 25 Messungen (LKW und SZ) erreicht worden wäre. Bei weiteren neun Messungen läge der $A(8)$ zwischen $0,45 \text{ m/s}^2$ und $0,50 \text{ m/s}^2$, sodass schon leichte Veränderungen der Einsatzbedingungen dazu führen können, dass auch in diesen Fällen der Auslösewert überschritten wäre. Außerdem ist nur noch bei neun Messungen eine horizontale Richtung für den $A(8)$ ausschlaggebend.

3.2 Dämpfungseigenschaften der Sitze

In Bild 2 ist zu sehen, dass die Messwerte am Sitzmontagepunkt in z-Richtung (Abszisse) überwiegend unter $0,40 \text{ m/s}^2$ liegen. Dabei ist zu bedenken, dass bei niedrigen Anregungen am Sitzmontagepunkt schon leicht erhöhte Messwerte $a_{we,z}$ auf der Sitzfläche dazu führen, dass der $SEAT$ deutlich ansteigt. Solche Unterschiede können verschiedene Ursachen haben und bedeuten nicht notwendigerweise, dass die Sitze defekt sind.

Der Unterschied zwischen Fahrer- und Beifahrersitzen macht sich dadurch bemerkbar, dass von den Fahrersitzen bei 16 Messungen die Schwingungen gedämpft werden können ($SEAT_z < 1,0$, in Bild 2 unterhalb der Linie), während bei den Beifahrersitzen nur acht Sitze die Schwingungen dämpfen (Sechs Polstersitze, zwei Sitze mit Feder-Dämpfer-System).

In den Fällen, in denen die Sitze die Schwingungen in z-Richtung verstärken, gehen die $SEAT_z$ selten über 1,13 bei den Fahrersitzen und über 1,20 bei den Beifahrersitzen hinaus. Nur in einem Fall wurde ein deutlich höherer $SEAT_z$ gemessen ($SEAT_z = 1,53$). Aus der

Messung ergeben sich keine offensichtlichen Gründe für diese Verstärkung, die in dieser Messreihe eine Ausnahme darstellt.



Bild 2: Energieäquivalente Mittelwerte der frequenzbewerteten Beschleunigungen in z-Richtung auf der Sitzfläche als Funktion derselben Messwerte am Sitzmontagepunkt: Datenpunkte, die auf der schwarzen durchgezogenen Linie liegen, entsprechen einem SEATz = 1,0. Datenpunkte über dieser Linie bedeuten, dass der Sitz die Schwingungen in z-Richtung verstärkt. Datenpunkte unter dieser Linie bedeuten, dass der Sitz die Schwingungen in z-Richtung dämpft.

In den horizontalen Richtungen haben Fahrer- und Beifahrersitze die Schwingungsanregung des Sitzmontagepunktes im Mittel leicht verstärkt. Im Gegensatz zur z-Richtung lässt sich kein Unterschied zwischen den Fahrer- und Beifahrersitzen feststellen, auch nicht für die Sitze, in denen ein Feder-Dämpfer-System in der Längsrichtung (x) eingebaut gewesen ist. In der y-Richtung ist bei keinem Sitz ein Federsystem eingebaut gewesen.

3.3 Spektrale Zusammensetzung der Schwingungsanregung am Sitzmontagepunkt

Die spektralen Leistungsdichten (Gleichung (4)) der unbewerteten Beschleunigungen in z-Richtung gemessen, an den Sitzmontagepunkten der Fahrersitze, sind in Bild 3 für LKW und SZ dargestellt. Dazu sind zusätzlich die derzeit gültigen Prüfanregungen „Sattel 1“ und „Sattel 2“ für Sattelkraftfahrzeuge [4] eingezeichnet.

Der Verlauf von PSD_z ist im Mittel für LKW und SZ ähnlich. Das Maximum liegt in beiden Fällen etwa bei 1,4 Hz und $0,15 \text{ (m/s}^2\text{)}^2/\text{Hz}$. Bei den LKW haben einige Messungen im Bereich von 2 Hz hohe Werte erreicht, weswegen der Mittelwert hier höher ist als bei den SZ.

Die Prüfanregungen für Sattelkraftfahrzeuge [4] hingegen haben bei höheren Frequenzen ihr Maximum, und sie schließen viele Messwerte bei Frequenzen unterhalb von 1,5 Hz nicht ein. Auch die maximale Höhe der PSD_z , besonders für die Kurve „Sattel 2“ (gepunktete Linie), scheint zu hoch zu sein, um die aktuellen Belastungen widerzugeben.

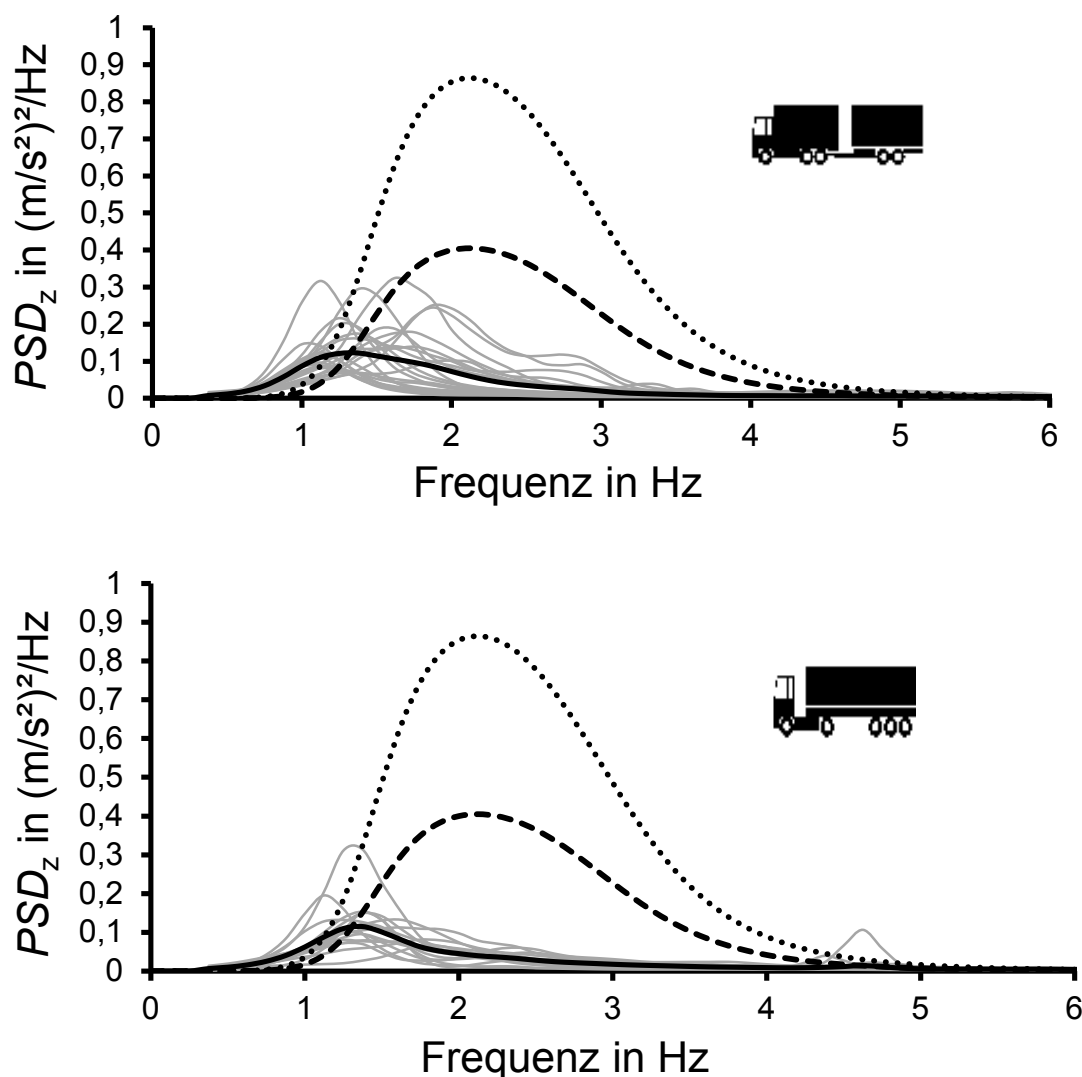


Bild 3: Spektrale Leistungsdichten der unbewerteten Beschleunigung in z-Richtung gemessen an den Sitzmontagepunkten der Fahrersitze (LKW oben, SZ unten). Messwerte (grau), Mittelwert aus allen Spektren (durchgezogen, schwarz), Prüfanregungen Sattel1 (gestrichelt schwarz) Sattel 2 (gepunktet schwarz) nach [4]

4. Zusammenfassung

Für Lastkraftwagenzüge und Sattelkraftzüge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von etwa 40 t, die überwiegend (etwa 90 % der Einwirkungsdauer) auf öffentlichen Straßen fahren, liegen in dieser Messreihe die frequenzbewerteten Beschleunigungen zu 75 % unterhalb von $0,36 \text{ m/s}^2$ (Beifahrersitze $0,41 \text{ m/s}^2$). Damit ist nur in Ausnahmefällen damit zu rechnen, dass der Auslösewert [1] bei einer Einwirkungsdauer von acht bis zehn Stunden erreicht wird. Bei einer Zwei-Fahrerbesatzung wäre der Auslösewert bei den gemessenen Belastungen allerdings in der Hälfte der Fälle erreicht. Dem kann dadurch entgegen gewirkt werden, dass auch die Beifahrersitze mit einem Feder-Dämpfer-System in z-Richtung ausgestattet werden, und dass Fahrten auf unbefestigten Fahrbahnen vermieden werden.

Die spektrale Zusammensetzung der gemessenen Beschleunigungen am Sitzmontagepunkt zeigen Unterschiede zu den derzeit gültigen Prüfspektren [4], sodass die hier vorliegenden Daten für eine Überarbeitung genutzt werden können.

- [1] Technische Regel zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung - TRLV
Vibrationen, Ausgabe: März 2015, GMBI Nr. 25/26 vom 24. Juni 2015, S. 482.
(Download <http://www.baua.de/trlv>)
- [2] Christ E, Fischer S, Kaulbars U, Sayn D, *BGIA-Report 6/2006 Vibrationseinwirkung an Arbeitsplätzen*, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (2006).
(Download <http://www.dguv.de/ifa/Publikationen/Reports-Download/BGIA-Reports-2005-bis-2006/BGIA-Report-6-2006/index.jsp>)
Nitti R; De Santis P, *Assessment and prediction of whole-body vibration exposure in transport truck drivers*, *Industrial health* (2010) 48 (5) 628-37.
- [3] Verordnung (EG 561/2006), *Zur Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr*, *Official Journal* (2006) L102/1-14.
- [4] DIN 45678:1994, *Mechanische Schwingungen - Sattelkraftfahrzeuge - Laborverfahren zur Bewertung der Schwingungen von Fahrzeugsitzen*, Beuth, Berlin.
- [5] VDI 2057-1:2002, *Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen - Ganzkörper-Schwingungen*, Beuth, Berlin.
- [6] DIN EN ISO 8041:2006(Berichtigung 2008, Änderung 2015), *Schwingungseinwirkung auf den Menschen – Messeinrichtung*, Beuth, Berlin.
- [7] Schäfer, K., Schick R, Rokosch F, Becker C., *Branchenspezifische Ermittlung von Ganzkörpervibrationen: Hilfen für die betriebliche Praxis*. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie* (2007) 57(6) 145-157.