

## **Ganzkörper-Vibrationen in horizontalen Richtungen – ein noch ungelöstes Problem**

### **Whole-body vibration in horizontal direction – a yet unsolved problem**

**D. Sayn, B. Göres**, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin;

#### **Abstract**

Exposure situations for whole-body vibrations are described in which the x and/or y direction are more important for the assessment of the work place than the z direction.

#### **1. Einleitung**

Bei Ganzkörper-Vibrationen (GKV) ist der Fall von zentraler Bedeutung, in dem ein Fahrzeug oder eine mobile Maschine Vibrationen über einen Sitz auf den Fahrer überträgt, die bei langjähriger, täglich hoher Belastung die Lendenwirbelsäule schädigen können.

Zum Schutz vor dieser Gefährdung setzt in Deutschland die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung [1 mit 2] Auslöse- und Expositionsgrenzwerte für den Tages-Vibrationsexpositionswert  $A(8)$  fest. Der  $A(8)$  ist eine der Tages-Schwingungsbelastungen  $A_i(8)$  [3] in den Schwingungsrichtungen  $I = \{x, y, z\}$  [4,5]. Nach der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung müssen Arbeitgeber erst dann Maßnahmen ergreifen, wenn der Auslösewert  $A(8) = 0,50 \text{ m/s}^2$  erreicht oder überschritten wird. Die Expositionsgrenzwerte sind für  $A(8) = A_{\{x,y\}} = 1,15 \text{ m/s}^2$  und für  $A(8) = A_z = 0,80 \text{ m/s}^2$ . Falls diese überschritten sind, müssen Sofortmaßnahmen ergriffen werden, um die Belastung unter diese Werte zu senken. In vielen Fällen ist dabei die z-Richtung ausschlaggebend für den  $A(8)$ . Zu den horizontalen Richtungen findet man in der Literatur vor allem Laborstudien: z. B. zu biodynamische Antwortfunktionen [6], oder Sitzeigenschaften [7]. Es sollen nun in dieser Arbeit Messungen an Arbeitsplätzen beschrieben werden, bei denen die horizontalen Richtungen x und y für den  $A(8)$  bestimmend werden können. Dazu werden im Abschnitt 2 exemplarische Expositionsfälle beschrieben und Messwerte vorgestellt. Im Abschnitt 3 werden Konsequenzen daraus diskutiert.

#### **2. Ergebnisse**

Bei den hier gezeigten 26 Betriebsmessungen aus den letzten drei Jahren hat das IFA Unfallversicherungsträger dabei unterstützt, die Belastung durch GKV an Arbeitsplätzen während betriebsüblicher Arbeiten zu ermitteln. Die gemessenen Einwirkungsdauern sind

lang genug, um die Betriebszustände zu beschreiben, und umfassen nach Möglichkeit komplette Tagesbelastungen. Es sind keine Belastungssituationen simuliert worden, und die Messungen haben die geltenden Normen [3-5] eingehalten. Die Schwingungsmessergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Bei den Messungen 1 bis 14 sind  $a_{w,x}$  und/oder  $a_{w,y}$  auf der Sitzfläche größer als  $a_{w,z}$ . Für die Messungen 15 bis 26 sind zwar auf der Sitzfläche  $a_{w,x}$  oder  $a_{w,y}$  kleiner als  $a_{w,z}$ , aber durch die Faktoren  $k_x = k_y = 1,4$  und  $k_z = 1,0$  bei einer Gesundheitsbewertung [5] wird  $k_{\{x,y\}} \cdot a_{w,\{x,y\}}$  größer als  $k_z \cdot a_{w,z}$ , was sich auf die Bewertung auswirkt (s. Abschnitt 2.2).

Tabelle 1: Schwingungsmessergebnisse von 26 Messungen

$a_{w,\{x,y,z\}}$  quadratischer Mittelwert der frequenzbewerteten Beschleunigung;

$SEAT_{\{x,y,z\}}$  Sitzübertragungsfaktor [8]

Nr.	Fahrzeug/Maschine	Dauer der [hh:mm]		Sitzfläche $a_{w,\{x,y,z\}}$ [m/s <sup>2</sup> ]			Montagepunkt $a_{w,\{x,y,z\}}$ [m/s <sup>2</sup> ]			SEAT		
		Benutzung	Einwirkung	$a_{w,x}$	$a_{w,y}$	$a_{w,z}$	$a_{w,x}$	$a_{w,y}$	$a_{w,z}$	x	y	z
1	Forstspezialschlepper*	02:35	01:58	0,45	0,55	0,34	0,33	0,42	0,49	1,36	1,31	0,69
2	Forstspezialschlepper*	05:16	04:37	0,41	0,36	0,29	0,32	0,27	0,37	1,28	1,33	0,78
3	Holzrückeschlepper	08:45	07:20	0,50	0,34	0,29	0,24	0,29	0,30	2,08	1,17	0,97
4	Holzrückeschlepper	01:30	01:18	0,26	0,27	0,25	0,16	0,22	0,30	1,63	1,23	0,83
5	Holzvollernter*	02:00	01:44	0,49	0,41	0,44	0,44	0,37	0,49	1,11	1,11	0,90
6	Traktor*	00:35	00:29	0,64	0,84	0,38	0,48	0,71	0,83	1,33	1,18	0,46
7	Traktor*	07:46	06:10	0,43	0,38	0,25	0,24	0,26	0,29	1,79	1,46	0,86
8	Gabelstapler*	07:30	03:15	0,27	0,23	0,25	0,24	0,18	0,52	1,13	1,28	0,48
9	Radlader	07:35	04:18	0,32	0,29	0,29	0,26	0,25	0,27	1,23	1,16	1,07
10	Radlader	07:50	05:42	0,50	0,60	0,49	0,40	0,49	0,45	1,25	1,22	1,09
11	Muldenkipper	01:10	01:02	0,39	0,71	0,66	0,35	0,61	0,57	1,11	1,16	1,16
12	Mobilbagger	01:05	00:57	0,58	0,36	0,24	0,48	0,29	0,53	1,21	1,24	0,45
13	Raupenbagger*	06:50	06:41	0,45	0,36	0,26	0,37	0,32	0,62	1,22	1,13	0,42
14	Gabelstapler	04:55	01:50	0,22	0,22	0,21	0,22	0,19	0,37	1,00	1,16	0,57
Für die Nummern 15-26 wird $k_{\{x,y\}} \cdot a_{w,\{x,y\}} > k_z \cdot a_{w,z}$												
15	Holzrückeschlepper	02:35	01:58	0,19	0,28	0,37	0,15	0,21	0,36	1,27	1,33	1,03
16	Holzrückeschlepper	07:00	05:42	0,18	0,24	0,26	0,15	0,18	0,27	1,20	1,33	0,96
17	Traktor*	01:41	01:26	0,52	0,47	0,58	0,34	0,39	0,78	1,53	1,21	0,74
18	Traktor*	00:55	00:46	0,38	0,34	0,46	0,22	0,28	0,52	1,73	1,21	0,88
19	Schmalspurtraktor	06:00	00:38	0,37	0,60	0,74	0,28	0,61	0,80	1,32	0,98	0,93
20	Gabelstapler	01:25	01:10	0,29	0,24	0,34	0,26	0,20	0,58	1,12	1,20	0,59
21	Muldenkipper	06:45	05:53	0,33	0,52	0,65	0,27	0,41	0,61	1,22	1,27	1,07
22	Muldenkipper	05:50	05:07	0,32	0,52	0,53	0,27	0,41	0,45	1,19	1,27	1,18
23	Mobilbagger	04:50	04:05	0,36	0,29	0,36	0,33	0,25	0,45	1,09	1,16	0,80
24	Mobilbagger	05:00	04:12	0,33	0,26	0,38	0,30	0,23	0,45	1,10	1,13	0,84
25	Lkw-Zug mit Kipper*	03:15	02:19	0,20	0,29	0,40	0,15	0,26	0,43	1,33	1,12	0,93
26	Diesellokomotive	01:19	01:00	0,07	0,13	0,13	0,06	0,11	0,15	1,17	1,18	0,87

Die mit \* gekennzeichneten Fahrzeuge hatten Sitze mit einem Federsystem in x-Richtung

An den Sitzmontagepunkten sind die Messwerte  $a_{w,z}$  bei allen Messungen am höchsten, mit der Ausnahme der Messung 10 und 11. Bei den Messnummern 1-14 sind die Messwerte  $a_{w,x}$  und  $a_{w,y}$  am Sitzmontagepunkt im Mittel höher als bei den Messnummern 15-26. Die Mittelwerte für  $a_{w,z}$  an den Sitzmontagepunkten sind bei den Messungen 1-14 und 15-26 vergleichbar.

Dies lässt sich mit den gemessenen Einsatzbedingungen erklären, denn bei den Messungen 1-14 überwiegen die Betriebszustände mit Fahrten auf unbefestigten Straßen, auf Baustellen und im Forst (Beispiel Bild 1). Außerdem spielen dort Betriebszustände eine Rolle, in denen in x-Richtung Ladung aufgenommen wird, wie bei den Radladern und Gabelstaplern. Bei den Messungen 15-26 sind diese Betriebszustände weniger oft vertreten.



Bild 1: Holzrückeschlepper

## 2.1 Sitzeigenschaften

Bei den meisten Messungen in Tabelle 1 verringern die Sitze durch ihre Feder-Dämpfer-Systeme in z-Richtung die Schwingungen, während in x-, und y-Richtung die Schwingungen verstärkt werden. Der Sitzübertragungsfaktor  $SEAT$  ist dabei kleiner als 1, wenn die Schwingungen gedämpft werden, und größer als 1, wenn sie verstärkt werden [8].

Die Gründe, weswegen ein Sitz in z-Richtung die Schwingungen nicht verringern kann, können darin liegen, dass die Anregung am Sitzmontagepunkt zu gering ist (Messung 9), oder die Anregung hat Anteile bei sehr tiefen Frequenzen (Messung 21 [11]). Es kann auch daran liegen, dass der Sitz zu weit oben oder unten im Schwingbereich eingestellt worden ist (Messung 22). Dass ein Sitz die Schwingungsanregung in z-Richtung merklich verstärkt, ist auch in dieser Messreihe die Ausnahme, und deutet meist auf Defekte hin.

In der x- und y-Richtung verstärken die Sitze die Schwingungen zwischen 10 % und 30 % ( $1,1 < SEAT_{\{x,y\}} < 1,3$ ). Dies ist in dieser Messreihe unabhängig davon, ob Sitze Feder-Systeme in diesen Richtungen haben oder nicht (Tabelle 1). Die Wirksamkeit der Feder-Systeme in x-Richtung wirft Fragen auf. Denn in Laborstudien ist mit Feder-Systemen in x-Richtung ein  $SEAT_x < 0,94$  erreicht worden [7]. Auch treten Verstärkungen mit  $SEAT_x > 1,6$

bei den Messungen 3, 4, 7 und 18 auf, bei denen Sitze mit und ohne Feder-System in x-Richtung vorhanden waren.

## 2.2 Bewertung

Um die Messreihe einheitlich zu bewerten, wird davon ausgegangen, dass die für die Sitzfläche angegebenen  $a_{w,i}$  während einer Einwirkungsdauer  $T$  von acht Stunden vorgelegen haben. In diesem Fall sind die Tages-Schwingungsbelastungen  $A_i(8) = k_i \cdot a_w$ , [3] (Bild 2). In allen Fällen dieser Messreihe ist  $A_{\{x,y\}} > A_z$ , was bei den Messungen 1-14 daran liegt, dass  $a_{w,\{x,y\}} > a_{w,z}$  ist, und bei den Messungen 15-26  $\{k_x \cdot a_{w,x}, k_y \cdot a_{w,y}\} > k_z \cdot a_{w,z}$  ist.

Der Expositionsgrenzwert wäre bei den hier vorgenommenen Berechnungen nur bei Messung 6 überschritten. In vierzehn weiteren Fällen wäre der Auslösewert überschritten (Linie in Bild 2). Bei den Messungen 3, 7, 10, 13, 21 und 22 ist der Auslösewert tatsächlich schon während der Messung überschritten worden. Die elf Fälle, in denen der Auslösewert nicht erreicht wird, kommen vor allem bei den Messungen 15-26 vor, bei denen die Schwingungsanregung in x- und y-Richtung wegen der Einsatzbedingungen im Mittel geringer war als bei den Messungen 1-14.

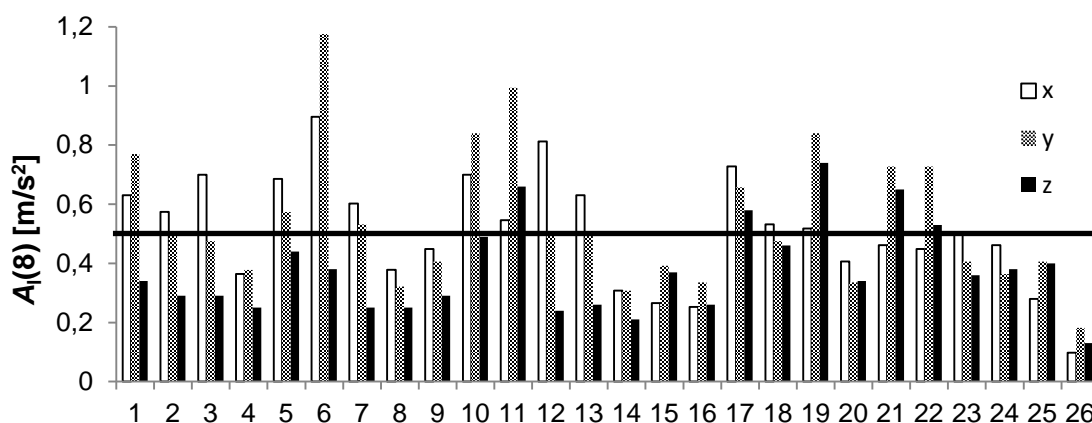


Bild 2: Tages-Schwingungsbelastungen  $A_i(8)$  für die Messungen aus Tabelle 1 und täglichen Einwirkungsauern von 8 h. Die Linie gibt den Auslösewert  $0,5\text{m/s}^2$  an [1].

## 3. Diskussion

Bei der Frage, wie auf diese Situation reagiert werden soll, stellt sich das Problem, dass die mit Abstand wichtigste, technische Minderungsmaßnahme, nämlich die Auswahl eines geeigneten Sitzes, hier nicht angewendet werden kann: in keinem der hier untersuchten Fälle hat ein Feder-System in x-Richtung eine Dämpfung erzielt, die größer gewesen wäre als sie für einen Sitz ohne ein solches System ist.

In Situationen, in denen  $A(8)$  über dem Auslösewert liegt, könnte man versuchen, durch bessere Sitzauswahl und -einstellung  $A(8)$  so weiter zu verringern. Dabei müssen jedoch alle Schwingungsrichtungen im Auge behalten werden. Auch sollte der Sitz so eingebaut sein, dass der Benutzer den optimalen Bereich in z-Richtung einstellen kann. Eine vom Schwingweg getrennt einzustellende Sitzhöhe ist hier hilfreich. An Lösungen für die x- und y-Richtung fehlt es noch, da es hier Grenzen für die Bedienbarkeit des Fahrzeuges gibt. Bei den tiefen Frequenzen würden sich große Federwege ergeben und ein beliebiges Ausweichen des Sitzes ist nicht zulässig.

### Danksagung

Die Autoren danken den beteiligten Betrieben und Unfallversicherungsträgern für die gute Kooperation bei den Messungen.

### 4. Literatur

- [1] Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen - LärmVibrationsArbSchV - (2007) BGBl I Nr. 8 S. 261.  
(Änderungsverordnung (2010) BGBl. I Nr. 38, S. 964.)
- [2] Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung - TRLV Vibrationen, Ausgabe: Januar 2010, GMBI. Nr. 14/15 vom 10. März 2010, S. 271 ([www.baua.de/trlv](http://www.baua.de/trlv)).
- [3] DIN EN 14253:2003/(A1:2007), Mechanische Schwingungen - Messung und rechnerische Ermittlung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen am Arbeitsplatz im Hinblick auf seine Gesundheit - Praxisgerechte Anleitung.
- [4] ISO 2631-1:1997/(Amd 1:2010), Mechanische Schwingungen und Stöße - Bewertung der Einwirkung von Ganzkörper-Schwingungen auf den Menschen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen (Änderung 1, 2010).
- [5] VDI 2057 Blatt 1:2001, Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen - Ganzkörper-Schwingungen.
- [6] Rakheja S., Dong R.G., Patra S., Boileau P.-É., P. Marcotte P., C. Warren: Biodynamics of the human body under whole-body vibration: Synthesis of the reported data, 40, 2010, S. 710-732.
- [7] Blüthner, R., Seidel, H., Hinz, B.: Laboratory study as basis of the development for a seat testing procedure in horizontal directions. Industrial Ergonomics, 38, 2008, 447-456.

- [8] DIN EN ISO 7096:2010, Erdbaumaschinen - Laborverfahren zur Bewertung der Schwingungen des Maschinenführersitzes.