

- [12] • *Bäcker, G.*: Untersuchungen über die Möglichkeit der Anwendung eines elektromechanischen Trennverfahrens für die Weintraubenernte. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der MEG, H. 9 (1976).
- [13] *Haak, A. J.*: Mechanical harvesting wine grapes — a South African evaluation. Wynboer Nr. 8 (1975) S. 47/51.
- [14] *Shaulis, N. J., E. S. Shepardson u. J. C. Moyer*: Yield losses in the mechanical harvesting of grapes in New York. New York State Hort. Soc. Vol. 120 (1975) S. 96/104.
- [15] *Studer, H. E. u. H. P. Olmo*: Evaluation of fruit loss through the cleaning fans of mechanical grape harvesters. Trans. ASAE Bd. 19 (1976) Nr. 2, S. 219/22.
- [16] *Snoobar, B. A., B. F. Cargill, J. H. Levin u. D. E. Marshall*: Grape harvester recovery and losses. Amer. Journal of Enology and Viticulture Vol. 24 (1973) Nr. 1, S. 10/13.
- [17] Groupe de Travail "Machines a Vendanger": La mecanisation des vendanges. Vignes et Vins Nr. 259 (1977) S. 7/45.
- [18] *Cyciv, M. V., A. J. Duskin, M. M. Gervol'skij u. V. J. Popov*: Zur Frage der Kelterweinlese mit Vibratoren (russ.). Traktori sel'chozmash. Bd. 38 (1968) Nr. 4, S. 29/31.
- [19] *Dellenbach, P.*: Mechanization of grape harvesting. Food and agriculture organization of the United Nations FAO/ECE/Agri/WP,z/R21 9. August 1977.

Schwingungsbelastung von Fahrern landwirtschaftlicher Fahrzeuge und ihre Bewertung

Von Michael Graef, Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für landtechnische Grundlagenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

DK 631.372:628.517:629.1.042

Auf landwirtschaftlichen Fahrzeugen soll die Schwingungsbelastung der Fahrer so klein sein, daß sie auch bei Langzeiteinwirkung keine Gesundheitsschädigungen verursacht und darüber hinaus die Arbeitsleistung und Konzentrationsfähigkeit möglichst wenig beeinträchtigt. Um den derzeitigen Stand im Hinblick auf die Schwingungsbelastung der Fahrer zu erfassen, werden bei den verschiedenen Arbeiten in der landwirtschaftlichen Produktion Messungen in den drei Koordinatenachsen am Fahrersitz durchgeführt.

Die Ergebnisse lassen grundsätzliche Aussagen über die Größe, Amplituden- und Frequenzverteilung der Schwingungsbelastung und über die Wirksamkeit der schwingungsbeeinflussenden Elemente zu.

Dabei darf man allerdings die Problematik der Beurteilung der in der Praxis räumlichen Schwingungsbelastung mit den bestehenden Regelwerken nicht übersehen.

1. Einleitung

In der Landwirtschaft gibt es bei dem heutigen Stand der Mechanisierung und Motorisierung sehr viele Arbeitsplätze, an denen der Mensch mechanischen Schwingungen, d.h. Erschütterungen und Vibrationen, ausgesetzt ist. Dies ist besonders bei Fahrern von Schleppern, Mähreschern und anderen selbstfahrenden Arbeitsmaschinen der Fall [1, 2, 3]. Hier werden die Schwingungen durch Bodenunebenheiten in Verbindung mit der Fahrgeschwindigkeit, aber auch durch Motor, Fahrzeugbauteile und verwendete Arbeitsgeräte angeregt und wirken in erster Linie über die Sitzfläche als Schwingungsbelastung auf den Fahrer ein.

2. Aufgabenstellung

Um den derzeitigen Stand im Hinblick auf die Schwingungsbelastung der Fahrer zu erfassen, werden Schwingungsmessungen an Fahrerplätzen auf landwirtschaftlichen Fahrzeugen in den drei Koordinatenrichtungen durchgeführt. Die Messungen erfolgen in Zusammenarbeit mit Landwirten beim praktischen Einsatz der verwendeten Maschinen und Geräte.

Ziel dieser Messungen ist es, festzustellen, welche Schwingungsbelastungen für die Fahrer bei den verschiedenen landwirtschaftlichen Arbeiten auftreten und welche Aussagen über die Schwingungsbelastung bei einer Bewertung mit den bestehenden technischen Regelwerken zu machen sind. Weiterhin soll, ausgehend von den Messungen und Bewertungen, untersucht werden, ob über die schwingungstechnischen Eigenschaften der verwendeten landwirtschaftlichen Sitze und Fahrzeuge Aussagen möglich sind, die als Ausgangspunkt für technische Maßnahmen zu einer Verminderung der Schwingungsbelastung für die Fahrer beitragen können.

*) Dipl.-Ing. M. Graef ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für landtechnische Grundlagenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Batel) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

3. Wirkung von Schwingungen auf den Menschen

Maßgebend für die Wahrnehmung von Schwingungen sind die Schwingungseigenschaften des menschlichen Körpers und das Schwingempfinden [4, 5]. Da kein spezielles Organ für das Erkennen mechanischer Schwingungen vorhanden ist, registriert der Mensch Schwingungen mit seinen sogenannten Hilfsrezeptoren, wie den Mechanorezeptoren der Muskelspindeln für Schwingungen z.B. der einzelnen Organe im Körper und Mechanorezeptoren der Haut, die Meissnerschen und Merckelschen Körperchen, durch welche Schwingungen als Druckänderungen bemerkbar sind. Außerdem werden Schwingungen durch die Gleichgewichtsorgane im Ohr (Bogengänge und Vestibularapparat) wahrgenommen. Sie reagieren sehr feinfühlig auf Lageänderungen des Kopfes [6].

Zwischen der Schwingungswahrnehmung des Menschen und dem Resonanzverhalten des gesamten Körpers bzw. einzelner Organe bestehen eindeutige Zusammenhänge, die aber interindividuell, d.h. von Person zu Person, unterschiedlich sein können. Die Wahrnehmung ist besonders stark, wenn am Körper insgesamt oder an einzelnen Körperteilen Resonanzschwingungen auftreten [7].

Bild 1 zeigt einige Eigenfrequenzen des sitzenden Menschen. Die Schwingungen wirken dabei in x-Richtung (auf das Fahrzeug bezogen in Fahrtrichtung) bzw. in y-Richtung (quer zur Fahrtrichtung) oder in z-Richtung (in Richtung der Hochachse des Fahrzeugs) auf den Menschen ein.

Die Eigenfrequenzen des menschlichen Körpers im Sitzen bzw. einzelner Organe liegen in einem Bereich zwischen 0,5 und 100 Hz [8, 9], wobei die Gleichgewichtsorgane die niedrigste Eigenfrequenz im Bereich 0,5–1,3 Hz haben. Die Resonanzfrequenz der Augäpfel kann bis 100 Hz betragen.

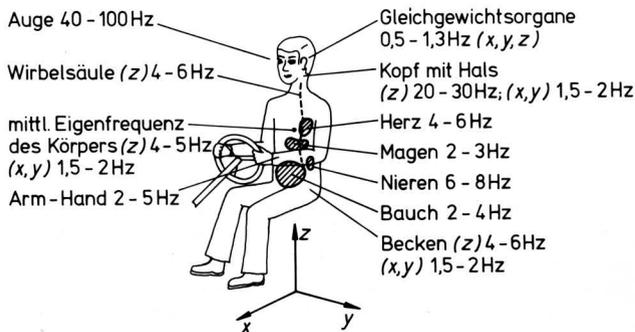


Bild 1. Eigenfrequenzen des sitzenden Menschen in den drei Koordinatenrichtungen, nach Raou, Ashley [8], Dupuis [5] u.a.

Unterschiedliche Eigenfrequenzen je nach der Schwingungsrichtung weisen z.B. der Kopf mit Hals auf, dessen Eigenfrequenz in z-Richtung zwischen 20 und 30 Hz liegt, oder auch das Becken mit einer Eigenfrequenz von 4–6 Hz in z-Richtung, während in beiden Fällen die Eigenfrequenzen bei Schwingungsanregung in x- bzw. y-Richtung im Bereich 1,5–2 Hz liegen. Besonders empfindlich ist der Mensch im Sitzen bei Schwingungsanregung im Bereich der mittleren Eigenfrequenz des Körpers in z-Richtung bei 4–5 Hz und in x- bzw. y-Richtung bei 1,5–2 Hz.

Bei starker Schwingungsanregung über lange Zeit ist die Wahrscheinlichkeit von Organschädigungen gegeben. Dies konnte von Rosegger u. Rosegger [10] und von Dupuis u. Christ [11] für Wirbelsäule und Magen durch Reihenuntersuchungen an Schlepperfahrern festgestellt werden.

4. Art und Abhängigkeit der Schwingungen

Die grundlegenden Zusammenhänge zwischen den auf den Menschen einwirkenden Schwingungen und deren frequenz- und amplitudenabhängiger Wahrnehmung sowie die Beurteilung mechanischer Schwingungen im Hinblick auf ihre Erträglichkeit sind in nationalen und internationalen Richtlinien bzw. Empfehlungen niedergelegt [4, 12].

Diese Richtlinien sollen dazu dienen, nicht nur qualitative, sondern auch quantitative Aussagen über die Schwingungsbelastung des Menschen zu machen.

Ein Kennwert dafür ist die Wahrnehmungsstärke, welche den Grad der subjektiven Wahrnehmung aufgrund der von außen auf den Menschen einwirkenden Schwingungen angibt.

Die in diesen Richtlinien empfohlene Vorgehensweise zur Erzielung brauchbarer Kennwerte für die Bewertung der auf landwirtschaftlichen Fahrzeugen auf den Fahrer in den drei Koordinatenrichtungen einwirkenden Schwingungen soll anhand eines Beispiels, eines 81 kW-Schleppers, der mit 2 Anhängern zum Abfahren von Zuckerrüben über die Landstraße eingesetzt wurde, aufgezeigt werden.

Als physikalische Meßgröße zur Ermittlung der Schwingungsbelastung dient die Beschleunigung an der Sitzfläche des Fahrers in den drei Koordinatenachsen. Aus dem zeitlichen Verlauf der Beschleunigung läßt sich durch Terzfilter-Analyse das Frequenzspektrum der Effektivbeschleunigung gewinnen, das in **Bild 2** für die Schwingungen in z-Richtung am Fahrerplatz aufgezeichnet ist.

Weiterhin sind im Diagramm Kurven gleicher Wahrnehmungsstärke angegeben. Der charakteristische Verlauf ergibt sich daraus, daß Schwingungen mit gleicher Intensität, aber unterschiedlicher Frequenz unterschiedlich wahrgenommen werden.

Für jeden Wert der Effektivbeschleunigung in den einzelnen Terzbändern läßt sich nun entsprechend den Bewertungskurven die Wahrnehmungsstärke bestimmen. Durch geometrische Addition der einzelnen Wahrnehmungsstärken im Bereich von 1 bis 80 Hz erhält man die Gesamtwahrnehmungsstärke

$$K_{z\text{ges}} = \sqrt{\sum_f K_z^2(f)}$$

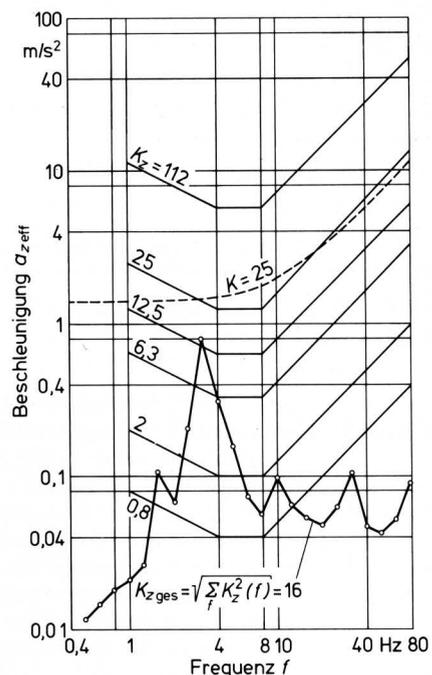


Bild 2. Frequenzspektrum in z-Richtung der auf den Fahrer einwirkenden Schwingungen und Belastungsgrenzen nach ISO 2631 und VDI 2057 (Schlepper mit 2 Anhängern beim Rübenabfahren).

in diesem Fall $K_{z\text{ges}} = 16$, die ein Maß für die Schwingungsbelastung ist [4]. Neben diesem als Weighting-Methode bezeichneten Verfahren, das alle Anteile der in der Praxis meistens auftretenden Breitbandspektren berücksichtigt, wird in der ISO-Empfehlung 2631 [12] daneben auch ein als Rating-Methode bezeichnetes Verfahren zur Bewertung zugelassen, bei dem nur der in bezug auf die Belastungsgrenzen größte Frequenzanteil in einem Terzband berücksichtigt wird. Die Rating-Methode erscheint zwar sinnvoll im Hinblick auf die Tatsache, daß die Bewertungskennlinien aus Versuchen mit Sinusschwingungen diskreter Frequenz abgeleitet wurden, für eine Bewertung der in der Praxis meist stochastischen Schwingungssignale empfiehlt sich aber andererseits der mit der Weighting-Methode ermittelte Wert, da er als Effektivwert aller Frequenzanteile für den Mittelwert Null der Streuung des Signals entspricht und somit eine statistische Kenngröße für die Beschreibung der Signaleigenschaften darstellt.

Erreicht die Gesamtwahrnehmungsstärke die in **Tafel 1** angegebenen Werte, so führt sie je nach der Expositionszeit der Schwingungsbelastung beim Fahrer zu Auswirkungen, die von der Beeinträchtigung des Wohlbefindens über die Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit bis zur Beeinträchtigung der Gesundheit reichen.

So kann z.B. eine Wahrnehmungsstärke von 25 bei 3stündiger Einwirkung auf den Fahrer zu einer Beeinträchtigung der Gesundheit führen. Bei 8stündiger Schwingungseinwirkung wird diese Grenze schon bei einer Wahrnehmungsstärke von 12,5 erreicht.

Eine Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit bei 8stündiger Schwingungseinwirkung kann sich schon bei einer Wahrnehmungsstärke von 6,3 ergeben.

Die angegebenen Expositionszeiten gelten allerdings für ununterbrochene Schwingungseinwirkung auf den Fahrer. Längere oder kürzere Arbeitspausen und eine damit evtl. vorhandene Erholung von der vorherigen Schwingungsbelastung sind beim heutigen Stand des Wissens noch nicht ausreichend zu berücksichtigen, so daß gegenwärtig eine vollständige Aussage über die beeinträchtigende Wirkung der Schwingungsbelastung in der Praxis auf Wohlbefinden, Leistungsfähigkeit und Gesundheit nicht möglich ist [13, 14]. Man ist aber zumindest in der Lage, die beeinträchtigende Wirkung von Schwingungen auf den Menschen abzuschätzen [15].

Wahrnehmungsstärke K_{ges}	Expositionszeit	Beeinträchtigung von
112	1 min	Gesundheit
25	3 h	Gesundheit
12,5	8 h	Gesundheit
6,3	8 h	Leistungsfähigkeit
2	8 h	Wohlbefinden

Tafel 1. Auswirkungen von Schwingungsbelastungen (Belastungsgrenzen nach VDI 2057).

Bild 3 stellt die Frequenzspektren der Effektivbeschleunigung für das gewählte Beispiel bei horizontaler Schwingungseinwirkung in der x- und y-Richtung dar. Im Gegensatz zu den in **Bild 2** gezeigten Bewertungskurven der Schwingungswahrnehmung in z-Richtung, bei denen für den sitzenden Menschen im Frequenzbereich von 4–8 Hz die größten Empfindlichkeiten vorliegen, zeigen die Bewertungskurven für die horizontale Schwingungseinwirkung eine größte Empfindlichkeit des sitzenden Menschen im Frequenzbereich von 1–2 Hz. Darüber nimmt die Empfindlichkeit mit steigender Frequenz ab, d.h. die Kurven gleicher Wahrnehmungsstärke steigen mit zunehmender Frequenz an.

Auch hier läßt sich ein Gesamtwert der Wahrnehmungsstärke aus den Wahrnehmungsstärken der einzelnen Terzbänder bestimmen, der für das gewählte Beispiel in x-Richtung $K_{x\text{ges}} = 8,9$ und in y-Richtung $K_{y\text{ges}} = 4$ ist.

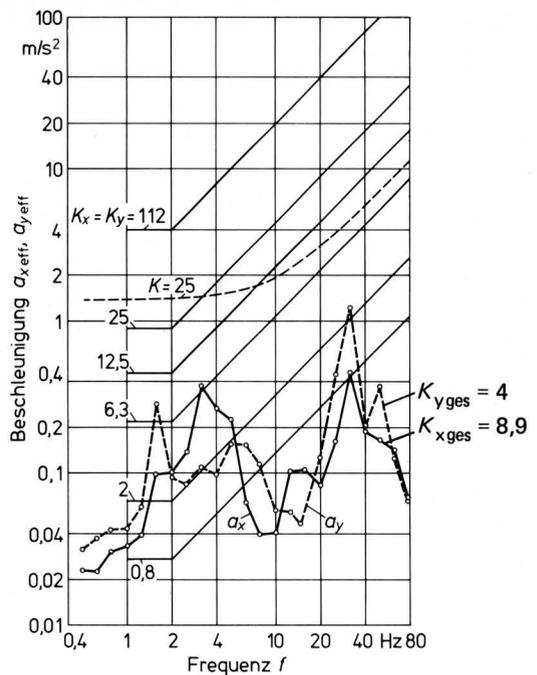


Bild 3. Frequenzspektren in x- und y-Richtung der auf den Fahrer einwirkenden Schwingungen und Belastungsgrenzen nach ISO 2631 und VDI 2057 (Schlepper mit 2 Anhängern beim Rübenabfahren).

Für das gewählte Beispiel ist also die durch Nickschwingungen des Fahrzeugs in x-Richtung verursachte Schwingungsbelastung des Fahrers gegenüber der durch Hubschwingungen des Fahrzeugs verursachten Schwingungsbelastung des Fahrers vergleichsweise gering.

Da mit der Baugröße von Schleppern und der Verwendung von Modulkabine [16], d.h. Kabinen, die einen vom Schlepperaufbau getrennten Boden haben, die Höhe des Sitzes über den Achsen des Fahrzeugs zunimmt, können, wie **Bild 4** zeigt, die Effektivwerte der Beschleunigung in x- und y-Richtung, d.h. für Nick- und Wankbewegungen des Fahrzeugs, so groß sein, daß sich für alle drei Richtungen eine etwa gleich große Fahrerbelastung ergibt. In einem solchen Fall erscheint die Beurteilung der in allen drei Richtungen gleich großen Schwingungsbelastung des Fahrers hinsichtlich der in den ISO-Empfehlungen und VDI-Richtlinien angegebenen Grenzen für die Beeinträchtigung der Gesundheit, der Leistungsfähigkeit bzw. des Wohlbefindens problematisch, da diese Grenzen für die angegebenen Werte nur dann gelten sollen, wenn die Schwingungsbelastung vorwiegend in einer Schwingungsrichtung auftritt. Hier ist durch weitere Forschungsarbeiten zu klären, ob nicht zweckmäßigerweise die resultierende Gesamtwahrnehmungsstärke

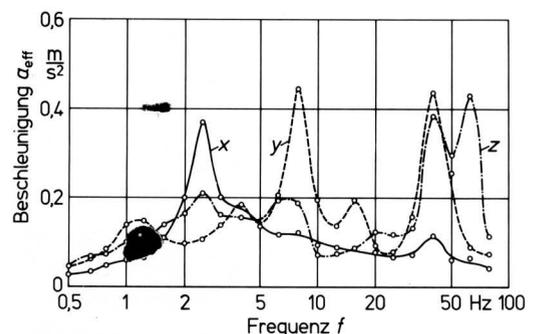


Bild 4. Beschleunigungsspektren in x-, y- und z-Richtung an der Sitzfläche des Fahrers mit etwa gleicher Wahrnehmungsstärke des Fahrers ($K_x = 8,7$; $K_y = 10,1$; $K_z = 9,9$), Pflügen 6 km/h.

$$K_R = \sqrt{K_{xges}^2 + K_{yges}^2 + K_{zges}^2}$$

als Kennwert für die in der Realität immer dreidimensionale Schwingungsbelastung verwendet werden sollte [8, 17]. Dies setzt allerdings die Erarbeitung von Grundkenntnissen über die Beeinträchtigung von Gesundheit, Leistungsfähigkeit bzw. Wohlbefinden bei dreidimensionaler Schwingungsbelastung voraus. Ebenso wie die Schaffung einer einheitlichen Bewertungsgrundlage für den unterschiedlichen Einfluß der Frequenz auf die Schwingungswahrnehmung des Menschen in verschiedenen Einwirkungsrichtungen [18] ist die Erarbeitung von Grundlagen zur Beurteilung auch zwei- und dreiachsiger Belastungsfälle im Hinblick auf ihre Erträglichkeit notwendig.

Bei einer gemeinsamen Beurteilung der Schwingungspegel in den drei Richtungen im Hinblick auf ihre Erträglichkeit müßten dann die in den Richtlinien gegebenen, nur bei Beaufschlagung in vorwiegend einer Schwingungsrichtung geltenden Expositionszeiten entsprechend überarbeitet werden.

5. Diskussion der Ergebnisse

Die Arbeitsbedingungen und die für die Charakterisierung der Schwingungsbelastung notwendigen Größen, die aus den auf 42 landwirtschaftlichen Fahrzeugen durchgeführten Messungen bestimmt wurden, zeigt **Tafel 2**. Diese Messungen wurden auf handelsüblichen Arbeitsmaschinen ohne Störung des Arbeitsablaufes oder der Bewegungsfreiheit der Fahrer vorgenommen.

Die erhaltenen Ergebnisse sind geeignet, die Größenordnung der Schwingungsbelastung repräsentativ für die mit landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen durchgeführten Arbeiten festzustellen. Aus ihrer Analyse lassen sich weiterhin die Ursachen der Schwingungsbelastung erkennen und Maßnahmen zu ihrer Bekämpfung ableiten. Die Messungen haben gezeigt, daß die Schwingungsbelastung des Fahrers in starkem Maße von der durchgeführten Arbeit abhängig ist.

Nr.	Datum	Ort	Arbeitsgang	Fahrzeug			Gerät	Fahr- gesch. km/h	Wahrnehmungsstärke ²					Arb. zeit h
				Art ¹	Sitzan- ordnung	Leist. kW			Sitz- bef.		Fahrer Sitzfläche			
									K _{z1}	K _{z2}	K _{y2}	K _{x2}		
1	26.10.*	Eickenrode	Pflügen	S	Mitte	53	3schar. Pflug m. Egge	7,5	13,8	9,7	10,1	7,3	9,5	
2	9.11.*	Timmerlah	Pflügen	S	hinten	66	4schar. Pflug m. Scheibenegge	7,5	12,9	14,6	10,2	7,0	6,5	
3	16.11.*	Thiedenwiese	Pflügen	S	hinten	87	5schar. Pflug	6,0	9,6	9,8	9,7	10,3	3,0	
4	27.4.	Essenrode	Eggen	S	Mitte	103	Egge m. Krümmler	11,8	4,1	6,4	4,6	6,4	9,0	
5	31.5.	FAL	Feldwegfahrt	S	hinten	110		10,8	12,7	19,0	14,0	9,3	1,5	
5a	31.5.	FAL	Straßenfahrt	S	hinten	110		34,0	14,2	18,6	—	—	0,5	
6	1.6.	FAL	Feldwegfahrt	S	hinten	110		10,0	11,0	18,0	14,7	7,9	1,5	
7	7.6.	Ütze	Hacken u. Spritzen	S	hinten	35	Hackmasch. u. Kombispritze	5,5	2,4	4,5	4,9	3,2	4,0	
8	14.6.	Didderse	Gras mähen	S	hinten	36	Kreiselmäher	12,0	17,7	24,0	19,7	15,2	4,0	
9	14.7.	FAL	Mähdreschen	M	vorn	88		2,7	5,5	5,4	2,6	3,1	7,0	
9a	14.7.	FAL	Straßenfahrt	M	vorn	88		12,0	6,5	6,7	4,9	3,4	1,0	
10	29.7.	Bisdorf	Mähdreschen	M	vorn	88		3,5	5,3	5,3	2,3	3,8	10,0	
11	30.7.	Uhry	Straßenfahrt	M	vorn	88		10,0	3,9	4,0	—	—	0,4	
11a	30.7.	Uhry	Mähdreschen	M	vorn	88		3,5	6,3	7,2	4,2	5,8	9,0	
12	1.8.	Offleben (BKB)	Grubbern	S	hinten	99	Tiefengrubber	11,0	7,7	6,2	4,9	5,0	8,0	
12a	1.8.	Offleben (BKB)	Str.-Feldwegfahrt	S	hinten	99	Tiefengrubber	20,0	12,9	12,0	—	—	0,7	
13	2.8.	Wöltingerode	Grubbern u. Eggen	S	hinten	92	Grubber u. Egge	12,0	9,7	7,6	—	5,5	9,0	
14	4.8.	Sunstedt	Grubbern	S	hinten	65	Tiefengrubber	12,0	8,5	7,9	9,7	8,6	8,0	
15	5.8.	Warberg	Straßenfahrt	S	hinten	55	Strohpresse	15,0	12,1	9,5	—	—	0,7	
15a	5.8.	Warberg	Stroh pressen	S	hinten	55	Strohpresse	2,5	4,6	5,0	—	—	6,0	
16	10.8.	Harlingerode	Straßenfahrt	S	hinten	63	6schar. Pflug	22,0	9,5	8,3	—	—	0,8	
16a	10.8.	Harlingerode	Schälen	S	hinten	63	6schar. Pflug	11,0	5,9	5,3	8,5	6,3	4,0	
17	16.8.	BS-Broitzem	Straßenfahrt	M	vorn	150		15,0	13,9	12,7	—	—	0,5	
17a	16.8.	BS-Broitzem	Mähdreschen	M	vorn	150		3,5	9,3	5,3	3,7	2,6	8,0	
18	31.8.	Rietze	Mähdreschen	M	vorn	88		4,0	5,0	4,6	4,7	2,6	10,0	
19	5.9.	Beuchte	Feldwegfahrt	S	hinten	136	5schar. Wendepflug	15,0	10,7	12,7	—	—	0,5	
19a	5.9.	Beuchte	Pflügen	S	hinten	136	5schar. Wendepflug u. Packer	6,8	9,3	10,5	7,3	6,1	9,0	

Nr.	Datum	Ort	Arbeitsgang	Fahrzeug			Gerät	Fahr- gesch. km/h	Wahrnehmungsstärke ²				Arb. zeit h
				Art ¹	Sitzan- ordnung	Leist. kW			Sitz- bef. Kz1	Fahrer Sitzfläche			
										Kz2	Ky2	Kx2	
20	8.9.	Kl. Biewende	Grubbern	S	Mitte	81	Grubber	9,6	12,7	11,1	12,1	10,0	10,0
21	12.9.	Veltheim	Feldwegfahrt	S	hinten	103	5schar. Pflug	12,0	9,8	8,4	—	—	0,5
21a	12.9.	Veltheim	Pflügen	S	hinten	103	5schar. Pflug	4,3	5,0	5,9	5,7	4,5	9,0
22	13.9.	Gr. Stöckheim	Pflügen	S	hinten	74	4schar. Wendepfl. m. Scheibenegge	5,7	7,2	6,0	7,3	5,9	8,0
23	14.9.	Gr. Flöthe	Pflügen	S	hinten	74	5schar. Aufsattelpfl. m. Packer	5,5	5,1	4,6	6,2	4,2	8,0
24	16.9.	Essenrode	Pflügen	S	Mitte	103	5schar. Aufsattelpfl. m. Packer	8,2	8,3	9,9	6,7	7,2	8,0
25	19.9.	Watenstedt (Heeseb.)	Straßenfahrt	S	Mitte	92	5schar. Aufsattelpflug	20,0	5,2	7,7	—	—	0,4
25a	19.9.	Watenstedt (Heeseb.)	Pflügen	S	Mitte	92	5schar. Aufsattelpfl. m. Packer	3,6	5,2	7,0	6,9	7,5	8,0
26	20.9.	Sunstedt	Pflügen	S	hinten	65	4schar. Pflug m. Nachläufer	5,5	6,5	8,8	5,5	5,4	4,0
27	26.9.	Emmerstedt	Straßenfahrt	S	hinten	92	4schar. Beetpflug	18,0	8,0	4,9	—	—	0,6
27a	26.9.	Emmerstedt	Pflügen	S	hinten	92	4schar. Beetpflug m. Packer	7,5	14,9	8,2	4,3	4,1	8,5
28	27.9.	Volkmarsdorf	Str.-Feldwegfahrt	S	hinten	74	4schar. Pflug	12,0	10,3	13,2	—	—	0,4
28a	27.9.	Volkmarsdorf	Pflügen	S	hinten	74	4schar. Pflug	7,5	12,6	12,0	5,5	9,5	5,0
28b	27.9.	Volkmarsdorf	Str.-Feldwegfahrt	S	hinten	74	Eggen-Walzen-Kombination	15,0	14,8	17,0	—	—	0,4
28c	27.9.	Volkmarsdorf	Vorarb. f. Drillen	S	hinten	74	Eggen-Walzen-Kombination	12,0	8,6	10,1	4,1	5,7	4,0
29	28.9.	Ölirse	Rüben abfahren	S	Mitte	53	2 Anhänger	35,0	21,0	16,0	4,0	8,9	4,0
30	30.9.	Cramme	Pflügen	S	hinten	88	4schar. Wendepflug m. Packer	7,8	9,8	11,7	8,7	6,5	9,0
31	3.10.	Wittmar	Tiefpflügen	S	hinten	99	4schar. Pflug	6,5	6,0	9,8	12,4	6,8	10,0
32	4.10.	Bennigsen	Pflügen	S	hinten	99	4schar. Voldrehpflug	9,5	7,0	9,9	8,0	7,5	8,0
33	6.10.	Röhrse	Rüben roden	S	Mitte	53	Rübenroder	5,6	5,5	6,5	5,8	4,7	8,0
34	12.10.	Bredelem	Rüben roden	S	hinten	51	Rübenroder	5,8	5,9	8,1	8,0	8,2	8,0
35	13.10.	Geitelde	Straßenfahrt	S	hinten	51	Drillmaschine	30,0	8,8	13,6	—	—	1,4
35a	13.10.	Geitelde	Drillen	S	hinten	51	Drillmaschine	9,5	7,2	11,0	11,6	9,6	4,0
36	14.10.	Dettum	Pflügen	S	hinten	85	4schar. Aufs.Voldrehpfl. m. Packer	6,4	10,0	9,0	12,1	12,3	8,0
37	17.10.	Wahle	Rüben roden	S	hinten	37	Rübenroder	5,0	5,9	7,8	5,8	4,0	8,0
38	27.10.	Helmstedt	Rüben laden	S	Mitte	81	Frontlader	—	7,6	9,3	6,5	13,5	10,0
39	28.10.	Wense	Rüben roden	So	vorn	70	Rübenroder	8,2	7,1	7,8	8,4	10,9	8,0
40	21.11.	Edemissen	Rüben abfahren	S	Mitte	81	2 Anhänger	25,0	8,9	16,2	10,0	9,7	9,0
41	1.6.**	Rietze	Gras mähen	So	vorn	62	Kreiselmäher	14,0	26,5	30,0	22,7	—	8,0
42	2.6.**	Hillerse	Gras mähen	S	hinten	48	Kreiselmäher	12,0	26,1	41,8	22,6	22,9	8,0

Tafel 2. Aus Beschleunigungsmessungen ermittelte Werte der Wahrnehmungsstärke am Sitzbefestigungspunkt und auf der Sitzfläche bei verschiedenen landwirtschaftlichen Arbeiten in den Jahren 1976 (*), 1977 und 1978 (**).

1 Fahrzeugart: S Schlepper, M Mähdrescher, So Sonderfahrzeug

2 Index x, y, z kennzeichnet die Meßrichtung auf das Fahrzeug bezogen; x in Fahrtrichtung, y quer zur Fahrtrichtung, z in Richtung der Hochachse des Fahrzeugs. Index 1 bezieht sich auf die Meßstelle am Sitzbefestigungspunkt, Index 2 auf die Meßstelle an der Sitzfläche des Fahrers.

In Bild 5 sind die Wahrnehmungsstärken für die drei Koordinatenrichtungen x, y und z als Maß für die Schwingungsbelastungen des Fahrers für verschiedene Transportfahrten und Feldarbeiten angeben, wobei jeweils die in Tafel 2 ermittelten Höchstwerte der Wahrnehmungsstärke berücksichtigt wurden. Geringe Schwingungsbelastungen wurden beim Mähdreschen, aber auch beim Hacken und Spritzen beobachtet, während beim Grasmähen mit Kreiselmäher mit einer Wahrnehmungsstärke von 41,8 in z-Richtung eine sehr hohe Schwingungsbelastung des Fahrers auftrat.

Bei der Bodenbearbeitung wurden mittlere Schwingungsbelastungen festgestellt, wobei wie z.B. beim Pflügen die Schwingungsbelastung des Fahrers in z-Richtung gegenüber der x- und y-Richtung relativ groß sein kann, oder wie beim Grubbern, etwa gleich große Schwingungsbelastungen in den drei Koordinatenrichtungen beobachtet wurden.

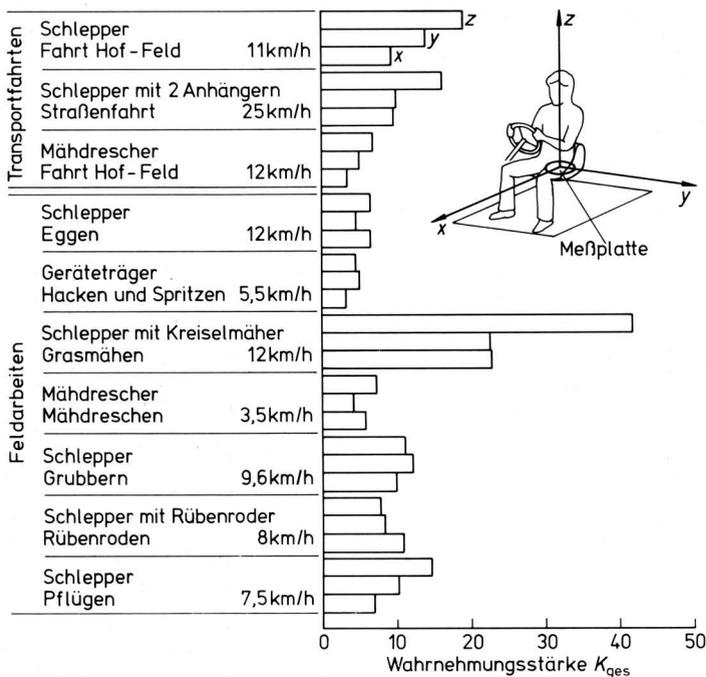


Bild 5. Wahrnehmungsstärke K_{ges} in den drei Koordinatenrichtungen an der Sitzfläche landwirtschaftlicher Fahrzeuge bei verschiedenen Arbeiten.

Einen Gesamtüberblick über die beim praktischen Betrieb auftretende Schwingungsbelastung in z-Richtung gibt Bild 6. Eingezeichnet ist die Wahrnehmungsstärke K_{zges} über der mittleren Fahrgeschwindigkeit. Die verschiedenen Symbole kennzeichnen die verschiedenen durchgeführten Arbeiten. Dabei konnten Wahrnehmungsstärken von etwa 4 bis 40 bei mittleren Fahrgeschwindigkeiten von 2,6 bis 40 km/h beobachtet werden. Daß die Meßpunkte nicht über das gesamte Diagramm verteilt sind, sondern in einem Band längs der Diagonalen angeordnet sind, läßt darauf schließen, daß die Fahrgeschwindigkeit die Fahrerbelastung in z-Richtung stärker beeinflusst als die anderen Einflußfaktoren wie z.B. Boden-zustand, verwendetes Fahrzeug und Gerät.

Bild 7 gibt einen Gesamtüberblick über die Wahrnehmungsstärke K_{xges} als Maß für die Schwingungsbelastung in x-Richtung. Hier konnten Wahrnehmungsstärken von etwa 3 bis etwas über 20 beobachtet werden.

Für die Schwingungsbelastung in y-Richtung, Bild 8, wurden Wahrnehmungsstärken für die verschiedenen landwirtschaftlichen Arbeiten von 3,6 bis 18 festgestellt.

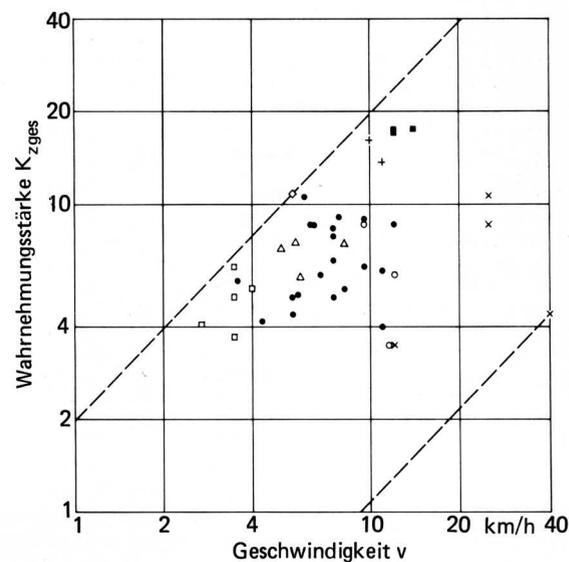
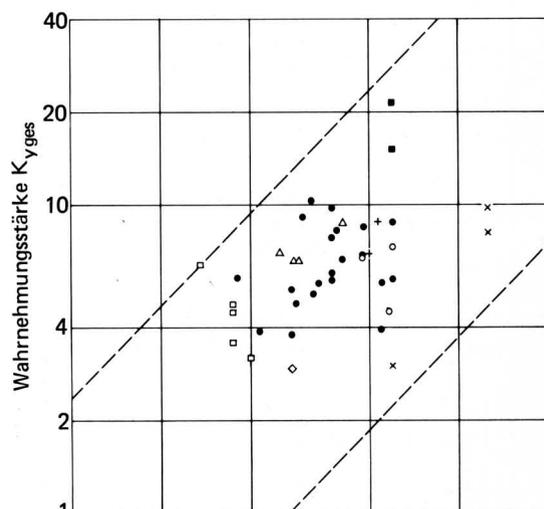
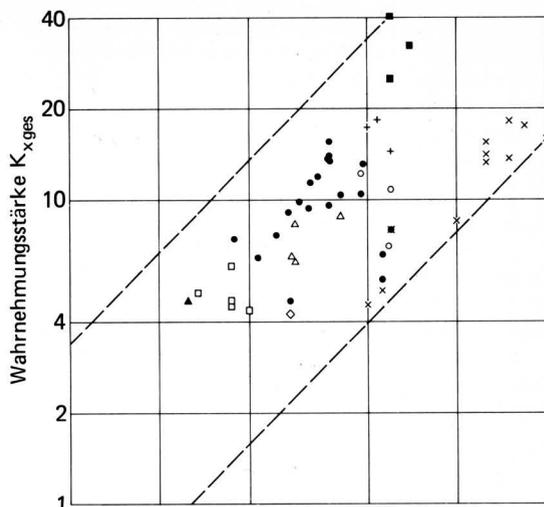


Bild 6 bis 8. Wahrnehmungsstärke des Fahrers in Abhängigkeit von der mittleren Fahrgeschwindigkeit.

Bild 6: K_{zges} , Bild 7: K_{xges} , Bild 8: K_{yges}

- Primärbodenbearbeitung
- Grasmähen
- Saatbeetvorbereitung
- Mähdreschen
- ◇ Pflegearbeiten
- △ Roden
- ▲ Pressen
- + Feldwegfahrt
- x Straßenfahrt

Die Schwingungsbelastung des Schlepperfahrers läßt sich außer durch den Gesamtwert der Wahrnehmungsstärke auch durch die Summenhäufigkeit charakterisieren, die für mehrere Messungen beim Pflügen in **Bild 9** dargestellt ist.

Die Summenhäufigkeit sagt aus, in welchen Anteilen der Gesamtfahrzeit bestimmte Pegel der Wahrnehmungsstärke überschritten wurden.

Faßt man die Summenhäufigkeit als Schwingungsbelastungskollektiv auf, so deutet der steile Abfall der Summenhäufigkeitslinien darauf hin, daß die Schwingungsbelastung während der Pflugarbeit in ihrer Höhe nur geringfügig schwankt. Dies läßt auf nur geringe Schwankungen der Arbeitsgeschwindigkeit und gleichmäßige Verteilung der Bodenebenenheiten auf dem während der Messung bearbeiteten Feld schließen.

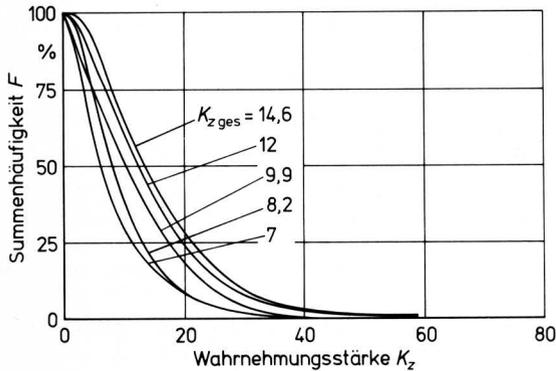


Bild 9. Summenhäufigkeit der Wahrnehmungsstärke K_z des Fahrers in z-Richtung für verschiedene Schlepper beim Pflügen.

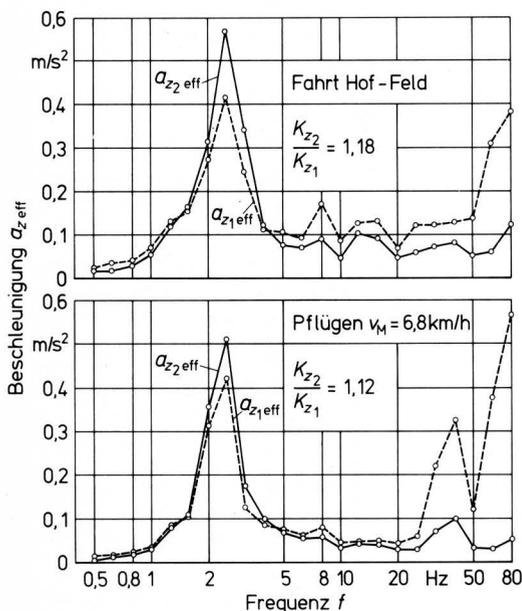


Bild 10. Beschleunigungsspektren der Vertikalschwingungen an der Sitzfläche des Fahrers und der Sitzbefestigung bei schlechter Abstimmung von Sitz- und Schleppereigenfrequenz für 2 verschiedene Belastungsfälle.

Neben der Aussage über die Schwingungsbelastung des Fahrers lassen die durchgeführten Messungen auch Aussagen über die Schwingungseigenschaften der verwendeten Fahrzeuge und die Wirksamkeit der Schleppersitze im Hinblick auf eine Minderung der am Sitzbefestigungspunkt gemessenen Schwingbeschleunigung zu. Wie **Bild 10** am Beispiel eines Standardschleppers zeigt, tritt

oftmals durch das Zusammenfallen von Sitz- und Schleppereigenfrequenz eine beträchtliche Zunahme der Resonanzüberhöhung auf. Die mit dem Index 1 versehenen Meßgrößen beziehen sich auf die Meßstelle am Sitzbefestigungspunkt, der Index 2 kennzeichnet die Meßstelle an der Sitzfläche des Fahrers. Die beträchtliche Zunahme der Resonanzüberhöhung ist sowohl bei der Fahrt vom Hof zum Feld als auch beim Pflügen, also bei zwei unterschiedlichen Belastungsfällen aufgetreten. Durch eine derartige schlechte Abstimmung von Sitz- und Schleppereigenfrequenz nimmt bei gleicher Expositionszeit auch die Schwingungsbelastung zu, wie sich am Verhältnis der Wahrnehmungsstärken an Sitzfläche des Fahrers und Sitzbefestigungspunkt K_{z2}/K_{z1} zeigen läßt, das für beide Belastungsfälle größer als eins ist. Leider muß festgestellt werden, daß diese schlechte Abstimmung von Schlepper und Sitz kein Einzelfall ist, sondern bei etwa 50 % der gemessenen Schlepper aus den Baujahren 1976 und 1977 auftrat.

Ein Abbau der Resonanzüberhöhung in der Eigenfrequenz des Schleppers läßt sich, wie in **Bild 11** gezeigt, durch gute Abstimmung von Sitz- und Schleppereigenfrequenz erzielen. Dies ist möglich, wenn die Sitzeigenfrequenz einen Wert hat, der maximal 70 % der Schleppereigenfrequenz beträgt.

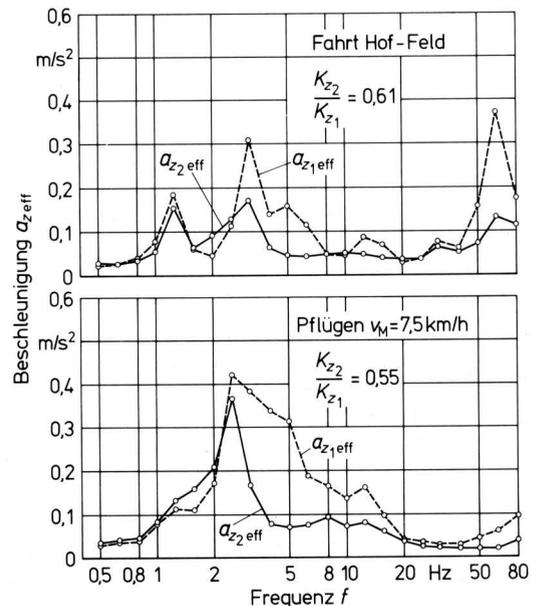


Bild 11. Beschleunigungsspektren der Vertikalschwingungen an der Sitzfläche des Fahrers und der Sitzbefestigung bei guter Abstimmung von Sitz- und Schleppereigenfrequenz für 2 verschiedene Belastungsfälle.

In **Bild 11** wird am Beispiel eines Standardschleppers dargestellt, daß bei guter Abstimmung von Sitz- und Schleppereigenfrequenz die Resonanzüberhöhung in der Eigenfrequenz des Schleppers abgebaut wird. Dies ist sowohl für die Meßfahrt vom Hof zum Feld als auch beim Pflügen der Fall. Auch das Verhältnis der Wahrnehmungsstärken ist in beiden Belastungsfällen wesentlich kleiner als eins.

Die Abstimmung der Eigenfrequenzen ist auch bei den für landwirtschaftliche Fahrersitze vorgeschlagenen Prüfungsverfahren zu berücksichtigen. Die dort vorgeschlagene Zuordnung der Schlepper zu Schlepperklassen aufgrund ihrer Masse muß gewährleisten, daß die Eigenfrequenz der Bezugsmaschine kleiner oder höchstens gleich der bei Schleppern im praktischen Einsatz auftretenden Resonanzfrequenz ist [19, 20].

6. Zusammenfassung

Die auf landwirtschaftlichen Fahrzeugen im praktischen Einsatz durchgeführten Messungen zeigen die Größenordnung der Schwingungsbelastung des Fahrers am Arbeitsplatz in den drei Koordinatenrichtungen auf. Die Schwingungsbelastung ist dabei in starkem Maße von der durchgeführten Arbeit abhängig. Für die x-, y- und z-Richtung ergaben sich an der Sitzfläche des Fahrers Wahrnehmungsstärken von etwa 3 bis 40. Geringe K-Werte wurden beim Mähreschen beobachtet, während hohe K-Werte in z-Richtung beim Grasmähen mit dem Kreiselmäher auftraten. Bei vielen Arbeiten können die durch Nick- und Wankbewegungen des Fahrzeugs hervorgerufenen Schwingungen in x- und y-Richtung am Fahrerplatz die gleiche Größenordnung wie die Schwingungen in z-Richtung haben. In diesen Fällen wird eine Beurteilung der Schwingungsbelastung mit den nur für jeweils eine Schwingungsrichtung geltenden Beurteilungsmaßstäben problematisch.

Oftmals tritt durch das Zusammenfallen von Sitz- und Schlepper-eigenfrequenz eine beträchtliche Zunahme der Resonanzüberhöhung auf, die zu erhöhter Schwingungsbelastung des Fahrers führt. Eine derartige unerwünschte und den Fahrer zusätzlich belastende Zunahme der Resonanzüberhöhung läßt sich durch eine bessere Abstimmung von Sitz und Schlepper in schwingungstechnischer Sicht abbauen, was bei den gemessenen Eigenfrequenzen der verschiedenen Schlepper, die im Bereich von 2 bis 3 Hz liegen, bei einer entsprechenden Auswahl der handelsüblichen Sitze vom technischen Standpunkt aus keine grundsätzlichen Schwierigkeiten bereiten dürfte und eine kostenneutrale Maßnahme zur Senkung der Schwingungsbelastung von Fahrern landwirtschaftlicher Fahrzeuge darstellt.

Die Messungen werden fortgesetzt, um durch eine größere Anzahl von untersuchten Arbeitsplätzen die statistische Sicherheit der Aussagen zu erhöhen und die durch technische Verbesserung der Produktionsmittel verringerten Schwingungsbelastungen der Fahrer landwirtschaftlicher Fahrzeuge in Maß und Zahl aufzeigen zu können.

Abschließend möchte ich den Landwirten danken, die durch ihre Bereitwilligkeit die Durchführung der Messungen ermöglicht haben, und den Mitarbeitern unseres Instituts, die zum Gelingen der Messungen beigetragen haben.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Stayner, R.M. u. A.G.M. Bean:* Tractor ride investigations: A survey of vibrations experienced by drivers during field work. NIAE-Departmental Note No. DN/E/578/1445 Silsoe.
- [2] *Matthews, I.:* Ergonomics of tractor design with regard to work-place environment. The Agricultural Engineer (London) Bd. 30 (1975) Nr. 4, S. 102/111.
- [3] *Stikeleather, L.F., G.O. Hall u. A.O. Radke:* A study of vehicle vibration spectra as related to seating dynamics. SAE-Paper No. 72 0001.
- [4] VDI 2057: Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Bl. 1 (Entwurf) Febr. 1975, Bl. 2 (Entwurf) Jan. 1976, Bl. 3 (Vorentwurf) 1977.
- [5] *Dupuis, H.:* Mechanische Schwingungen und Stöße. In: *H. Schmidtke:* Ergonomie 2. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1974.
- [6] ● *McCormick, E.J.:* Human factors in engineering and design. Kap. 15: Man in motion. New York: McGraw Hill Inc. 1976.
- [7] *Lange, W.:* Subjektive Schwingungswahrnehmung und Bewertung von Ganzkörper-Schwingungen. Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Präventivmedizin Bd. 9 (1974) H. 11, S. 240/42.
- [8] ● *Rao, B.K.N. u. C. Ashley:* Subjective effects of vibration. In: *W. Tempest* (Hrsgb.): Infrasound and low frequency vibration. London, New York, San Francisco: Academic Press 1976, S. 187/234.
- [9] ● *Goldman, D.E. u. H.E. von Gierke:* Effects of shock and vibration on man. In: *C.M. Harris u. C.E. Crede:* Shock and vibration handbook. Vol. 3: Engineering design and environmental conditions. New York, Toronto, London: McGraw-Hill Book Company 1961.
- [10] *Rosegger, R. u. S. Rosegger:* Arbeitsmedizinische Erkenntnisse beim Schlepperfahren. Archiv f. Landtechnik Bd. 2 (1960) H. 1, S. 3/65.
- [11] *Dupuis, H. u. W. Christ:* Untersuchung der Möglichkeit von Gesundheitsschädigungen im Bereich der Wirbelsäule bei Schlepperfahrern. Heft A 72/2 Max-Planck-Institut für Landarbeit und Landtechnik, Bad Kreuznach 1972.
- [12] ISO 2631: Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration. Second Edition 1978.
- [13] *Schnauber, H.:* Auswirkungen mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Arbeitssicherheit, Heft 2, Juni 1978. Beitrag in: *Krause/Pillat/Zander* (Hrsgb.): Arbeitssicherheit. Freiburg: Rudolf Haufe Verlag, Bd. 2, Gruppe 9, S. 281/341.
- [14] *Dupuis, A.:* Vibrationswirkungen am Arbeitsplatz. Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Präventivmedizin Bd. 9 (1974) H. 11, S. 233.
- [15] *Walters, F.C.:* Ride vibration standards and human tolerance criteria. ASAE-Paper Nr. 76-1578.
- [16] *Batel, W.:* Leistungsstarke Schlepper für die Bodenbearbeitung im Hinblick auf einen humanen Arbeitsplatz. Berichte über Landwirtschaft Bd. 56 (1978) H. 2, S. 559/83.
- [17] *Stühler, W.:* Übersicht über Probleme bei den Meß- und Auswertverfahren für mechanische Schwingungen im Zusammenhang mit der Beurteilung von Schwingungseinwirkungen auf Gebäude und auf Menschen in Gebäuden. VDI-Berichte Nr. 284, Düsseldorf: VDI-Verlag 1977, S. 5/11.
- [18] *Meister, F.J.:* Kritische Anmerkungen zur Bewertung der Schwingungsbelastung nach VDI 2057 – Ist eine Vereinfachung des VDI-Richtlinien-Entwurfs VDI 2057 für meßtechnische Zwecke möglich? VDI-Berichte Nr. 284, Düsseldorf: VDI-Verlag 1977, S. 37/40.
- [19] ISO/DIS 5007: Agricultural wheeled tractors operator seat measurement of transmitted vibration and seat dimensions. April 1975.
- [20] *Owzar, A.:* Ein Beitrag zur Untersuchung des Schwingungsverhaltens von ungefederten luftbereiften Fahrzeugen. Diss. TU Berlin 1975.