

ÜBER DIE BEANSPRUCHUNG DES MENSCHEN DURCH ERSCHÜTTERUNGEN AUF SCHLEPPERN UND LANDMASCHINEN

Von Max Haack

Im landwirtschaftlichen Betrieb wird der Mensch ausser durch körperliche Arbeitsleistungen oft in unerwünschter Weise durch Erschütterungen beansprucht. Diese Erschütterungen können entstehen beim Überfahren von Wegunebenheiten oder herrühren von Maschinenschwingungen, verursacht durch freie Kräfte der bewegten Massen.

Erschütterungen stellen unharmonische Schwingungsvorgänge dar, die sich nach der *Fourier*-Analyse aus einer Grundschwingung mit mehr oder weniger stark überlagerten Oberwellen zusammensetzen. Das Schwingempfinden des Menschen ist hierbei ein Massstab für die Bewertung der Erschütterungen. Erforderlich ist jedoch die Kenntnis über eine Erfassbarkeit dieser menschlichen Empfindungen in Mass und Zahl.

Das Schwingempfinden des Menschen

Das Schwingempfinden des Menschen könnte von verschiedenen Grössen, wie etwa dem Schwingweg, der Schwinggeschwindigkeit, der Schwingbeschleunigung oder deren zeitlicher Änderung, dem Ruck, abhängig sein. Umfangreiche Forschungsarbeiten der letzten drei Jahrzehnte haben genügend Material zusammengetragen, mittels dessen sich heute Festlegungen mit guter Sicherheit treffen lassen.

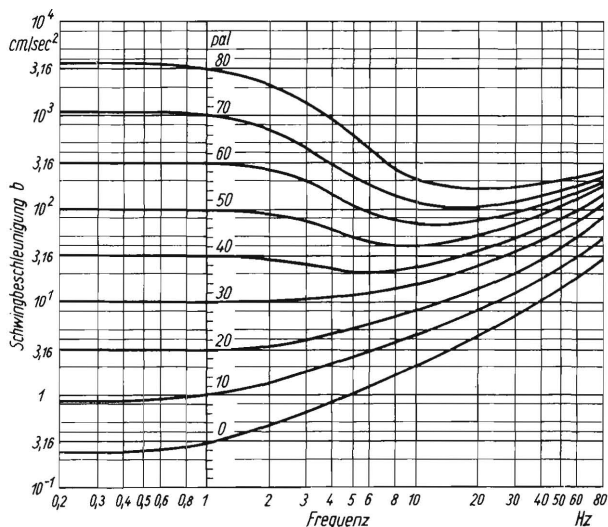


Bild 1. Kurven gleicher Schwingempfindungsstärke in Abhängigkeit von der Schwingbeschleunigung und der Frequenz (nach Zeller [7 und 8]).

So kam z.B. *Den Hartog* [1] aus spekulativen Überlegungen zu dem Schluss, dass die zeitliche Änderung der Beschleunigung ganz allgemein ein Mass für die Schwingempfindungsstärke sein muss. *Reiher* und *Meister* [2 u. 3] dagegen stellten auf Grund von Schwellenwertmessungen fest, dass für den Frequenzbereich von 2 bis 10 Hz bei einem Schwingweg von nur einigen Millimetern die Beschleunigung selbst der Schwingempfindungsstärke verhältnismässig ist.

In einigen neueren Arbeiten wird jedoch das Frequenzgebiet von 1 bis 60 bzw. 80 Hz in drei Bereiche mit durchaus unterschiedlichen Gesetzmässigkeiten aufgeteilt. Nach *Janeway* [4 u. 5] hat man zu unterscheiden:

- a) Niederfrequenzbereich von 1 bis 6 Hz. In diesem Bereich ist die Schwingempfindungsstärke verhältnismässig dem Ruck mit höchstzulässigem Grenzwert von 1230 cm/s³, woraus sich ergibt: $a \cdot f^3 \approx 5$,
- b) Mittelfrequenzbereich von 6 bis 20 Hz. In diesem Bereich ist die Schwingempfindungsstärke verhältnismässig der Beschleunigung mit höchstzulässigem Grenzwert von 3,3% g, hieraus findet sich $a \cdot f^2 \approx 0,8$,
- c) Hochfrequenzbereich von 20 bis 60 Hz. In diesem Bereich ist die Schwingempfindung verhältnismässig der Schwinggeschwindigkeit mit höchstzulässigem Grenzwert von 0,27cm/s, somit $a \cdot f \approx 1/24$,

wobei f die Frequenz in Hz und a die Schwingweite in cm bedeuten. Zu fast gleichen Werten wie *Janeway* kommt auch *Goldmann* [5 u. 6] auf Grund von biologischen Untersuchungen.

Von neueren deutschen Arbeiten ist die von *Zeller* [7] zu erwähnen. Seine Zusammenstellungen, die auf Auswertung der Versuche von *Postlethwaite* [9], *Meister* [2 u. 3] und *Békésy* [10 u. 11] fussen, sind in Bild 1 dargestellt. Bei *Zeller* ist eine Skala für die Schwingempfindungsstärken angegeben, die nach Erfahrungen obiger Forscher mit den grössten auftretenden Beschleunigungen und den Frequenzen gemäss Bild 1 in Verbindung gebracht werden. Auf Grund der verwendeten Untersuchungen stellt *Zeller* folgende Skala für die Schwingempfindungsstärke (in pal) auf:

- 0–10 pal Wahrnehmungsschwellen je nach Körperlage
- 10–20 „ allgemeine Wahrnehmung
- 20–30 „ für den Menschen in Gebäuden unzulässige Verkehrserschütterungen
- 30–40 „ Schwingungen in ruhig laufenden Fahrzeugen, schwere Maschinen- und Verkehrserschütterungen
- 40–50 „ Schwingungen in Fahrzeugen, Personenfahrstuhlbeschleunigungen
- 50–60 „ für den Menschen ohne Störung kurzzeitig ertragbar, schwere Erschütterungen in Fahrzeugen
- 60–80 „ für den Menschen physische Störungen, Seekrankheit, Tastschmerz bei hohen Frequenzen.

Mit dieser Aufgliederung ist eine Verbindung zwischen Schwingbeschleunigung und Schwingempfindung des Menschen bei verschiedenen Frequenzen herbeigeführt.

Hiernach zeigt sich bei tiefen Frequenzen (unter 1 Hz) die Beschleunigung der Schwingempfindungsstärke proportional. Im Bereich der Frequenzen vor 1 bis 6 Hz ist dagegen bei starken Schwingungen die Empfindungsstärke eher dem Ruck verhältnismäßig (bei kleinen Schwingungen jedoch der Schwinggeschwindigkeit). Im Frequenzbereich über 6 Hz ist die Schwingempfindung bei schwachen und mittleren Schwingungen angenähert der Schwinggeschwindigkeit und bei sehr starken Schwingungen mehr der Schwingbeschleunigung verhältnismäßig. Die Abgrenzung der einzelnen Frequenzbereiche liegt nicht starr bei 1, 6 und 20 Hz, sondern verschiebt sich bei starken Schwingbeanspruchungen zu höheren Frequenzen.

Die im Fahrzeugbetrieb geltenden Höchstwerte von Zeller liegen für die drei wesentlichen Frequenzgebiete in fast gleicher Größenordnung wie die von Janeway:

	Janeway	Zeller	
		(45 pal)	(55 pal)
Niederfrequenzgebiet	1230 cm/s ³	1200 cm/s ³	2500 cm/s ³
Mittelfrequenzgebiet	3,3 % g	3 % g	5 % g
Hochfrequenzgebiet	0,27 cm/s	0,3 cm/s	0,7 cm/s

Es kann somit als gesichert angesehen werden, dass das menschliche Schwingempfinden je nach dem vorhandenen Frequenzgebiet und der dabei auftretenden Schwingintensität verschieden verläuft. Das Schwingempfinden aller Menschen ist aber nicht gleich (vgl. Bild 2). Man erkennt hieraus, dass alle Wertangaben über das Schwingempfinden des Menschen immer nur Mittelwerte aus einer statistischen Verteilung sind. Es wird also Fälle geben, in denen einzelne Menschen bei weit geringeren Schwingbeanspruchungen, als sie den ertragbaren mittleren Grenzwerten entsprechen, ein unerträgliches Schwinggefühl haben; ebenso findet man auch Personen, die weit grössere Schwingbeanspruchungen vertragen.

Die in den einzelnen Frequenzbereichen unterschiedlich gespürte Schwingempfindung scheint im Zusammenhang mit Resonanzstellen des menschlichen Körpers zu stehen, der als stark gedämpftes Schwingungsgebilde aufzufassen ist. Von Wass [12] wurde die Eigenfrequenz des sitzenden Menschen durch Anstossen der Eigenschwingung (scharfes Hinsetzen auf starren Sitz) mit ungefähr 6,2 Hz bestimmt. Ähnlich findet Békésy [10 u. 11] beim Messen der auf den Boden übertragenen Druckschwankungen des sitzenden Menschen eine abklingende freie Schwingung von ungefähr 7 Hz, die durch den

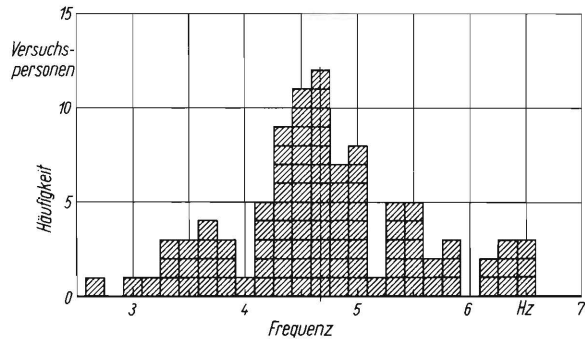


Bild 2. Verteilung des Schwingempfindens bei männlichen Versuchspersonen in Abhängigkeit von der Erregerfrequenz (nach Jacklin und Liddell [14]). Störend empfundene Fahrzeugschwingungen bei 93 männlichen Versuchspersonen im Alter von 17 bis 24 Jahren.

Pulsschlag ausgelöst wird. Aus der Versuchsanordnung kann geschlossen werden, dass es sich hier um die Eigenfrequenz des menschlichen Körpers handelt. E. A. Müller [13] stellt dagegen den grössten Schwingausschlag des sitzenden Menschen auf einem Schwingtisch bei ungefähr 4 Hz fest (Bild 3). Auch dieser Resonanzwert lässt sich mit der zuerst angegebenen Eigenfrequenz von 6 Hz in Einklang bringen, wenn man berücksichtigt, dass z.B. beim 0,5-fachen der aperiodischen Dämpfung das Maximum der Schwingweite einer erzwungenen Schwingung bei rund 0,8 der Eigenfrequenz auftritt. Der Frequenzbereich von 4 bis 7 Hz kann somit als Resonanzgebiet des Körpers betrachtet werden.

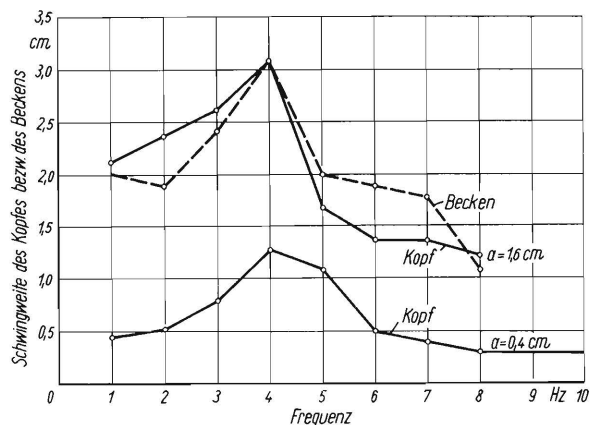


Bild 3. Schwingweite des Kopfes und des Beckens bei gleichbleibender Schwingweite der Sitzfläche von $a = 1,6$ bzw. $0,4$ cm (nach E. A. Müller [13]).

Die Feststellung von *Békésy*, dass unterhalb 1 Hz keine feststellbare Deformation des menschlichen Körpers durch Schwingungen entsteht, deckt sich vollkommen mit der Darstellung von *Zeller* (Bild 1, Bereich 0,2 bis 1 Hz).

Trägt man die von *Zeller* für mittlere Schwingbeanspruchungen angegebenen Grenzkurven der ertragbaren Schwingbeschleunigungen in einem linearen Massstab auf und vergleicht diese mit den Resonanzkurven der Schwingbeschleunigung eines einfachen Schwingers mit 6 Hz Eigenfrequenz, so lässt sich eine ungemein starke Ähnlichkeit im Kurvenverlauf erkennen (Bild 4). Es wird dabei ersichtlich, dass die Höhe der ertragbaren Schwingbeschleunigungen für Frequenzen oberhalb 6 Hz stark absinkt, um dann ab 15 bis 50 Hz fast gleichbleibend zu werden. Es verträgt also der Mensch bei Schwingempfindungsstärken von 60 bis 80 pal in seinem Resonanzgebiet (6 Hz) rund 6 bis 8 mal grössere Schwingbeschleunigungen als bei Frequenzen über 15 Hz.

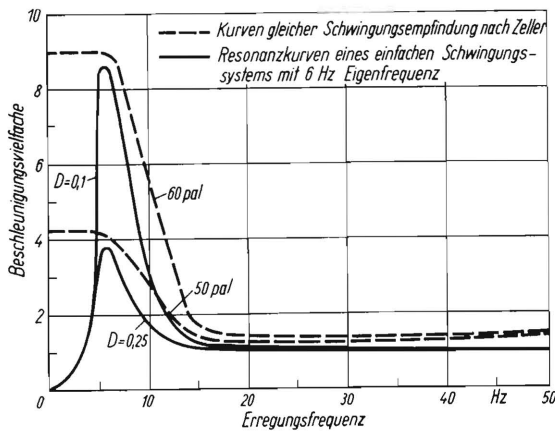


Bild 4. Menschliches Schwingempfinden (nach Werten von *Zeller* [7 u. 8]) im Vergleich mit Resonanzkurven eines einfachen Schwingers. D = Dämpfungsmass.

Békésy hat bei seinen Versuchen u.a. die Schwingleitfähigkeit des menschlichen Körpers untersucht und gab darüber eine Darstellung, die in Bild 5 wiedergegeben ist. Hiernach passieren die Frequenzen von 0 bis 6 Hz ungehindert den ganzen Körper. Erst oberhalb von 6 Hz entsteht durch das Überschreiten der Resonanz von örtlich tiefer liegenden Körperteilen eine ausgesprochene Filterwirkung für die örtlich höher liegenden. So werden beim stehenden Menschen alle Frequenzen über 80 Hz bereits bis zum Fussgelenk absorbiert. Für 35 bis 50 Hz erscheint das Kniegelenk als Grenze. Das Herz wird dann nur noch von Frequenzen bis rund 20 Hz erreicht. Nach *Békésy* ändert sich diese Darstellung für den sitzenden Menschen nur sehr unwesentlich dadurch, dass das Absorbieren der hohen Frequenzen jetzt vom Sitzfleisch anstatt von den Beinen erfolgt.

Auf Grund all dieser Untersuchungen lässt sich jedoch nicht eindeutig angeben, welche Sinnesorgane

die Schwingempfindung aufnehmen. *Zeller* hat in seinen ersten Arbeiten [8] nur die Gleichgewichtsorgane des Kopfes als alleinige Empfindungszelle angenommen und hiernach auch seine mathematischen Theorien zur Definition seines Masses für die Schwingempfindung entwickelt. Dieser Annahme steht aber die Ansicht von *E.A. Müller* entgegen, der je nach Frequenzen der Erregung verschiedene Sinnesorgane des Körpers für die Schwingempfindung annimmt. Eine ähnliche Auffassung wie *Müller* vertritt auch *Békésy*.

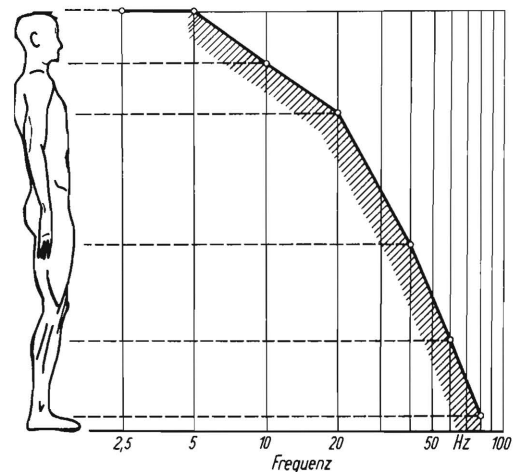


Bild 5. Schwingleitfähigkeit des stehenden Menschen für verschiedene Frequenzen (nach *Békésy* [10]).

Unter Annahme rein sinusförmiger Schwingbewegungen ist für die Grösstwerte von Schwinggeschwindigkeit, Schwingbeschleunigung und Ruck die zugehörige grösste Schwingweite zusammen mit der Frequenz ein eindeutiges Bewertungsmass. Es liegen daher auch Angaben über höchstzulässige Schwingweiten in dem Niederfrequenzgebiet von 1 bis 6 Hz u.a. von *Jacklin* und *Liddell* [14] und *Goldmann* [6] vor. Auch die bereits erwähnten Veröffentlichungen von *Janeway* und *Zeller* lassen bei Annahme sinusförmiger Schwingbewegungen eine Umrechnung für die höchstzulässige Schwingweite zu.

Aus dem Erfahrungswert von *Janeway* für den höchstzulässigen Ruck in Höhe von 1230 cm/s^3 findet sich bei Sinusbewegungen die grösste Schwingweite

$$a_{\max} \approx \frac{5}{f^3} \text{ cm}.$$

In ähnlicher Weise ergibt sich aus den Kurven von *Zeller*

$$a_{\max} \approx \frac{b_{\max}}{40 f^2} \text{ cm}.$$

Die b -Werte sind bei der betreffenden Frequenz für den gewählten pal-Wert der Schwingempfindungsstärke aus Bild 1 zu entnehmen. Nach *Zeller* wären als Mittelwerte für kurzzeitig, ohne Störungen ertragbare schwere Fahrzeugschwingungen 55 pal und für schwerste Erschütterungen mit physischen Störungen 70 pal zu wählen.

Die aus den Versuchswerten von *Jacklin* und *Liddell*, *Janeway*, *Goldmann* und *Zeller* sich ergebenden Höchstwerte der ertragbaren Schwingweiten sind in Bild 6 dargestellt. Die Tendenz der wiedergegebenen Schwellenkurven ist durchaus einheitlich, nur das Streufeld erscheint ziemlich gross. Man muss aber dabei bedenken, dass es sich hier um die Darstellung der Grenzwerte einer Empfindungsreaktion von Menschen handelt. Auf jeden Fall ist aber klar zu erkennen, dass bei Frequenzen über 4 Hz die dauernd ertragbare Schwingweite schon so kleine Werte annimmt, dass diese im landwirtschaftlichen Betriebe oft überschritten werden.

Für vergleichende Messungen ist noch darauf hinzuweisen, dass die wirklich auftretenden Schwingungen infolge von Stössvorgängen häufig stark von einer Sinuskurve abweichen. In diesen Fällen ist es ein grober Fehler, nur die Schwingweite zu beobachten, da die vorhandenen Oberwellen meist viel stärker das Schwingempfinden beeinflussen als die Grundwelle. Hier können am besten Beschleunigungsmessungen ein zutreffendes Bild geben. Solche Messungen setzen Messgeräte voraus, die bei geringem Gewicht und hoher Eigenfrequenz noch eine genügende Empfindlichkeit und Stabilität der Anzeige besitzen, was nur mit einigen Kompromissen zu erreichen ist.

Das Schwingempfinden bei Fahrbahnerschütterungen

Beim Überfahren von Wegunebenheiten treten in erster Linie Schwingungen mit der Frequenz von 1 bis 6 Hz auf. Dabei liegt um 4 Hz der Schwerpunkt, weil hier das hauptsächlichste Federungssystem Reifen/Fahrzeugmasse seine Resonanz hat. Diese Resonanz wird bei jedem Springen der Fahrzeugreifen angeregt.

Das Springen der Reifen tritt laufend auf, da alle Hindernisse, die grösser als die statische Reifeneinsenkung (25 bis 35 mm) sind, vom Reifen nicht mehr geschluckt werden. Es ergibt sich somit die Frage, ob diese Frequenzen durch eine Sitzfederung ausreichend gemildert werden können. Sie lässt sich rechnerisch bei Annahme der üblichen Voraussetzungen einigermassen klar beantworten.

Hierzu sei auf eine ausführliche Durchrechnung von *Marquard* [15] für das Problem der Motorradfederung hingewiesen. Vom Verfasser ist eine ähnliche schwingungstechnische Durchrechnung des Problems Mensch auf federnder Fahrzeugachse an anderer Stelle [16] bekanntgegeben worden. Die dabei entwickelten Gesetzmässigkeiten lassen sich auch auf den allgemeinsten Fall landwirtschaftlicher Fahrzeuge übertragen, nur müssen die dort verwendeten Verhältniswerte entsprechend verändert werden. Meist liegt jedoch das Gewichtsverhältnis Fahrer : Gerät in der verwendeten Grössenordnung von 1 : 10 bis 1 : 20,

so dass das dort ermittelte Resonanzverhalten der Sitzfederung grundsätzliche Erkenntnisse für die auf landwirtschaftlichen Maschinen auftretenden Schwingverhältnisse des Fahrers liefert.

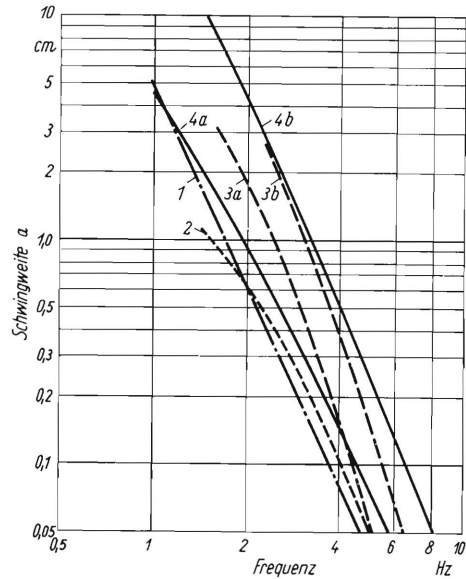


Bild 6. Höchstertagbare Schwingweiten in Abhängigkeit von der Frequenz.

- 1 nach *Janeway* [4],
- 2 nach *Goldmann* [6],
- 3 nach *Jacklin* und *Liddell* [14],
3a) störend; 3b) unbehaglich.
- 4 nach *Zeller* [7 und 8],
4a) 55 pal; 4b) 70 pal.

Das Verhältnis v der Sitzeigenfrequenz zur Fahrzeugeigenfrequenz (Reifenfederung) kann konstruktiv nur in verhältnismässig engen Grenzen verändert werden. Geht man von der niedrigsten Sitzeigenfrequenz aus, die noch baulich zu erreichen ist, und macht die Sitzfederung immer härter, so dass die Sitzeigenfrequenz von 0,4 bis 1,0 der Reifeneigenfrequenz steigt, so erhält man im Falle der Übereinstimmung beider Frequenzen eine rund fünffache Vergrösserung der Sitzbewegung gegenüber der Boden-

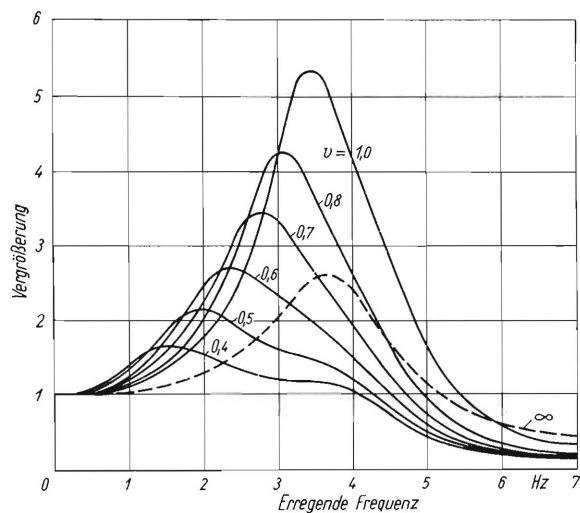


Bild 7. Resonanzkurven der Sitzfederung bei verschiedenem Frequenzverhältnis.

erhebung. Schreitet man noch weiter, so wandern die Resonanzspitzen nach rechts und nehmen dabei wieder an Höhe ab. Die Grenzlage ist die starre Verbindung des Schleppersitzes mit der Schlepperhinterachse, wobei sich nur eine 2,5 fache Vergrößerung des Schwingausschlages ergibt.

Es lässt sich somit aussagen, dass eine Sitzfederung mit einem Frequenzverhältnis $v > 0,6$ immer grössere maximale Schwingungsausschläge hat als ein federloser Sitz. Im Vergrössern der Federweichheit ist man, wie bereits erwähnt, aus baulichen und bedienungsmässigen Gründen bei $v = 0,4$ an der unteren Grenze. So findet man aus dieser Darstellung als günstigstes Frequenzverhältnis $v \approx 0,5$, d. h. Sitzeigenfrequenzen von rund 2 Hz bei Hinterachsfrequenzen von rund 4 Hz.

Als weiteres ergibt sich folgende Abhängigkeit: Wird die Eigenfrequenz des Systems Hinterachse/Reifen durch Einführung weicherer Reifen gesenkt, z.B. auf 3 Hz, so müsste auch zum Erreichen günstiger Bedingungen die Sitzeigenfrequenz entsprechend $v \approx 0,5$ auf rund 1,5 Hz herabgesetzt werden. Für diesen Fall wären demnach alle Sitze mit einer Eigenfrequenz über $3 \times 0,6 = 1,8$ Hz ungünstiger als ein starrer Sitz. Wegen weiterer konstruktiver Folgerungen und der messtechnischen Ergebnisse vergleiche die oben angegebene Veröffentlichung [16].

Das Schwingempfinden bei Maschinenerschütterungen

Motorschwingungen übertragen sich auf das Fahrzeug nicht in eindeutiger Richtung, d.h. ein Motor mit senkrechtem Zylinder erzeugt neben der zu erwartenden senkrechten Schwingbewegung auch eine fast gleichgrosse waagerechte Schwingkomponente. Nach Versuchen von *Békésy* [10] zeigt der menschliche Körper für die waagerechte wie für die senkrechte Erregung eine fast gleiche Empfindlichkeit.

Zusammenfassung

Die derzeitigen Kenntnisse über die Grenzwerte des Schwingempfindens des Menschen ermöglichen kritische Untersuchungen der Erschütterungen. Es zeigt sich, dass die Schwingbeanspruchung auf landwirtschaftlichen Fahrzeugen infolge Fahrbahnebenheiten hart an der Grenze des physisch Ertragbaren liegt und manchmal die Schwelle noch übersteigt. Durch eine Sitzabfederung allein lässt sich keine genügende Milderung der Erschütterungen im Frequenzbereich unter 5 Hz erreichen. Für schwingempfindliche Menschen muss daher mit dem Auftreten von Berufskrankheiten gerechnet werden. Nur die

Es ist also vorerst unwesentlich, ob ein stehender oder liegender Motor verwendet wird. Entscheidend sind nur die mehr oder weniger hohen Erregerfrequenzen, die sich aus der Motordrehzahl und den freien Kräften des Kurbeltriebwerkes ergeben.

Ein Aufschaukeln der Reifenschwingungen kann nur erfolgen, wenn die Frequenz der Motorschwingung um 4 bis 5 Hz liegt (vgl. [15]). Dies wäre bei einer Motordrehzahl unter 350 U/min der Fall. Solche langsam laufenden Motoren werden aber heute nicht mehr eingebaut. Nur bei langsamer Leerlaufdrehzahl (250 bis 350 U/min) kann das Schwingungssystem Schlepper/Reifen noch zur Resonanz gebracht werden, was auch häufig zu beobachten ist. Für den Fahrbetrieb hat dies jedoch keine Bedeutung, da dann bei voller Motordrehzahl die Erregerfrequenzen des Motors zu hoch liegen, um die vertikalen Fahrzeugschwingungen noch zu beeinflussen.

Im ersten Abschnitt wurde gezeigt, dass ab 6 Hz ein starker Abfall der ertragbaren Beschleunigungswerte eintritt. Demnach sind z.B. an einem langsam laufenden Motor mit einer erregenden Frequenz von 10 Hz rund viermal höhere Beschleunigungswerte als bei einem schnell laufenden Vierzylindermotor mit 25 Hz erregender Frequenz bei gleicher Erträglichkeit zulässig. Eine gewisse Gefahr liegt nur in der bereits erwähnten Streuung des menschlichen Empfindens. Man muss immer damit rechnen, dass rund $\frac{1}{4}$ der in Frage kommenden Personen wesentlich empfindlicher reagieren als der „Normalmensch“ (vgl. Bild 2); für sie beginnt der Abfall der noch erträglichen Beschleunigungswerte bereits schon bei weit niedrigeren Frequenzen. Sind solche Menschen nun als Fahrer von Schleppern mit langsam laufenden Motoren und starken Erregerkräften tätig, so können bei diesen Personen Krankheitserscheinungen auftreten, während der Durchschnittsmensch keine Schädigungen zeigt.

Abfederung der gesamten Massen bei einer Fahrzeugeigenfrequenz von 1 bis maximal 2 Hz lassen eine zufriedenstellende Lösung erwarten. Durch den hierbei notwendigen grossen Federweg würde auch ein Springen des Fahrzeuges bei den in der Landwirtschaft auftretenden hohen Wegunebenheiten vermieden werden. Die Schwingbeanspruchung infolge Motorschwingungen liegt erheblich unter der von Fahrbahnebenheiten hervorgerufenen, sie ist jedoch noch in einer solchen Höhe vorhanden, dass ein ruhigerer Lauf der Motoren gewünscht wird.

Schrifttum

- [1] *Den Hartog, J.P.*: Mechanische Schwingungen. Berlin 1936.
- [2] *Reiher, H. u. F.J. Meister*: Die Empfindlichkeit des Menschen gegen Stösse. Forsch. 3 (1932) S. 177.
- [3] *Meister, F.J.*: Die physiologische Wertung von Erschütterungsmessungen. Akust. Z. 2 (1937) S. 4.
- [4] *Janeway, R.N.*: Passenger Vibration Limits. SAE Journal (1948), Vol. 56, S. 48.
- [5] SAE Riding Comfort Research Committee: Ride and Vibration Data. Special Publication (SP-6), New York 50.
- [6] *Goldmann, D.E.*: A Review of subjective Responses to Vibratory Motion of Human Body. Report Nr. 1. Naval Medical Research Institute. March 1948.
- [7] *Zeller, W.*: Masseinheiten für Schwingungsstärke und Schwingungsempfindungsstärke. ATZ 51 (1949) S. 95.
- [8] *Zeller, W.*: Vorschlag für ein Mass der Schwingungsstärke. Z. VDI 77 (1933) S. 323.
- [9] *Postlethwaite, F.*: Human susceptibility to vibration. Engg. 157 (1949) S. 61.
- [10] *Békésy, G.v.*: Über die Empfindlichkeit des stehenden und sitzenden Menschen gegen sinusförmige Erschütterungen. Akust. Z. 4 (1939) S. 360.
- [11] *Békésy, G.v.*: Über die Vibrationsempfindung. Akust. Z. 4 (1939) S. 316.
- [12] *Wass, H.*: Messung von Kraftfahrzeugschwingungen. Z. VDI 79 (1935) S. 199.
- [13] *Müller, E. A.*: Die Wirkung sinusförmiger Vertikal-schwingungen auf den sitzenden und stehenden Menschen. Arb. Physiologie 10 (1939) S. 459.
- [14] *Jacklin, H.M. u. G.J. Liddell*: Riding Comfort Analysis. Engineering Bulletin Nr. 44 Purdue University U.S. May 1933.
- [15] *Marquard, E.*: Über das Schwingungsverhalten des Kraftrades. ATZ 54 (1952) S. 269.
- [16] *Haack, M.*: Über die günstigste Gestaltung der Schlep-persitzfederung bei luftbereiften Ackerschleppern mit starrer Hinterachse. Landtechn. Forsch. 3 (1953) S. 1/13.

Institut für Schlepperforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

Direktor: Prof. Dipl.-Ing. H. Meyer