

Bild 12. Amerikanische Anbau-Rübenerntemaschine mit nachlaufendem Bunkerkarren.



Bild 13. Deutscher Geräteträger mit Aufbau-Bunkerköpfröder (Fendt).

Gegensatz zur angehängten Maschine sehr manövrierfähig sind. Sie können also auch mitten in der Furchenlänge ausscheren und einen dort aufgestellten weiteren Wagen beladen.

Selbstfahrende Maschinen sind prädestiniert für die Einmannbedienung. Es erscheint durchaus möglich, daß der Fahrer das Einsetzen und Ausheben, die Tiefenkontrolle, die Bunkerentleerung, die Kontrolle der Funktion aller Organe und die Steuerung ebenso beherrschen kann, wie etwa der Steuermann auf einer gezogenen Maschine. Unerläßliche Voraussetzung ist allerdings, daß der Mann nicht zu sehr durch das Steuern der Maschine beansprucht und abgelenkt wird. Eine Furche als Führungshilfe für das Schleppervorderrad ist daher hier besonders wünschenswert. Trotzdem wird die Steuerung des Fahrzeuges bei einem starr angebauten Schar nicht immer aus-

reichen, so daß hier selbstführende Schare mit einem seitlichen Bewegungsspielraum gegenüber der Maschine besonders wichtig sein können.

Eine deutliche Überlegenheit zeigen die selbstfahrenden Maschinen bezüglich der Einmannbedienung am Hang, da das Schar zwischen den Achsen läuft und die Steuerung auch bei Schiefelaufen des ganzen Fahrzeuges nach diesem Schar erfolgen kann.

Wo die in diesen Ausführungen behandelten einfachen und billigen mechanischen Lösungsmöglichkeiten für eine Einmannbedienung von Rübenerntemaschinen nicht ausreichen, also beispielsweise bei der Arbeit gezogener Maschinen am Hang oder bei Maschinen mit starr angebautem Schar, können vielleicht Servo-Steuerungen verschiedener Art weiterhelfen.

Senkrechte Schwingbeschleunigungen von Fahrern in Kraftfahrzeugen, auf Ackerschleppern und selbstfahrenden Arbeitsmaschinen

Von **Heinrich Dupuis**, Bad Kreuznach

Untersuchungen der menschlichen Beanspruchung bei der Maschinenbedienung sind sowohl mit arbeitsphysiologischen als auch mit physikalisch-technischen Meßverfahren möglich. Nicht immer lassen sich jedoch physiologische und technische Untersuchungsmethoden in gleicher Weise vorteilhaft einsetzen. Die Schwingungsforschung bietet ein Beispiel dafür, daß es bei praktischen Fahrversuchen zweckmäßiger ist, die Schwingbeanspruchung des Menschen nach physikalischen Meßwerten als durch arbeitsmedizinische Untersuchungsverfahren zu erfassen und zu beurteilen.

Zwar gibt es eine Vielzahl von physiologischen Methoden, wie solche zur Messung von Energieverbrauch, Kreislaufbelastung, Magensekretion, Magen- und Wirbelsäulenbewegung usw., die schon auf die komplexen Auswirkungen der Schwingbeanspruchung auf den Menschen hinweisen. Diese Verfahren sind aber bei praktischen Fahrversuchen teilweise gar nicht und keinesfalls nebeneinander anwendbar und haben daher mehr für grundlegende arbeitsmedizinische Laboruntersuchungen ihre Berechtigung.

Zur Ermittlung der Schwingungsbelastung bei Kraftfahrern bieten sich physikalische Meßverfahren mit statistischer Auswertung an, wie sie auch in der Technik verwendet werden. So ist das Schwingungsverhalten von Fahrzeugen für die Auto-

mobilerhersteller ein ständiges Untersuchungsobjekt, das jedoch dort vor allem hinsichtlich der dynamischen Materialbeanspruchung und der Fahreigenschaften interessiert. Neuerdings finden wir aber auch steigendes Interesse bei der Automobilindustrie dafür, im praktischen Fahrbetrieb anwendbare Meßmethoden und Maßstäbe für einen Faktor des Fahrkomforts, die Schwingbeanspruchung des Fahrers, zu bekommen [1 bis 3].

Versuchsanordnung

Bei stochastischen Vorgängen wie den Fahrzeugschwingungen muß auf eine Reproduzierbarkeit der Meßwerte im Wiederholungsversuch und auf eine statistische Sicherung der Meßergebnisse größter Wert gelegt werden. Deshalb wurde der Indikator für die menschliche Schwingbeanspruchung, die Beschleunigung, mit elektronischen Geräten erfaßt und von einem Klassiergerät verarbeitet und gespeichert. Entsprechend dem Vorschlag der im Entwurf vorliegenden VDI-Richtlinie 2057 [4] wurde der Beschleunigungsaufnehmer an der Einwirkungsstelle auf den Menschen, für die senkrechten Schwingungen also zwischen Fahrer und Sitz, angebracht, **Bild 1.** Meßverstärker und Klassiergerät wurden in den zu untersuchenden Fahrzeugen oder im Meßwagen mitgeführt und von einem benzin-elektrischen Stromaggregat gespeist, **Bild 2 und 3.**

Es war die Aufgabe gestellt, in Vergleichsuntersuchungen unter praktischen Fahrbedingungen die Schwingungsbeanspruchung des Menschen in verschiedenen Kraftfahrzeugen und

Dr. agr. Heinrich Dupuis ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Max-Planck-Institut für Landarbeit und Landtechnik (Direktor: Prof. Dr. Gerhardt Preuschen) in Bad Kreuznach.

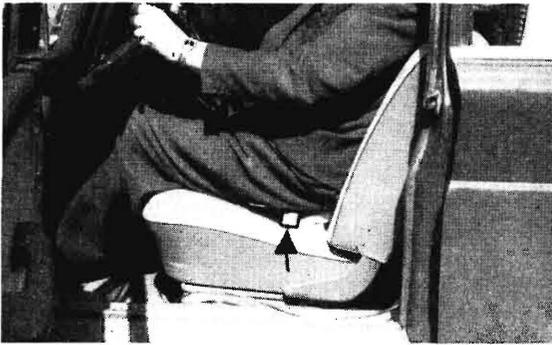


Bild 1. Der induktive Beschleunigungsaufnehmer wird entsprechend der VDI-Richtlinie 2057 an der Einwirkungsstelle der Schwingung auf den Fahrer angebracht.

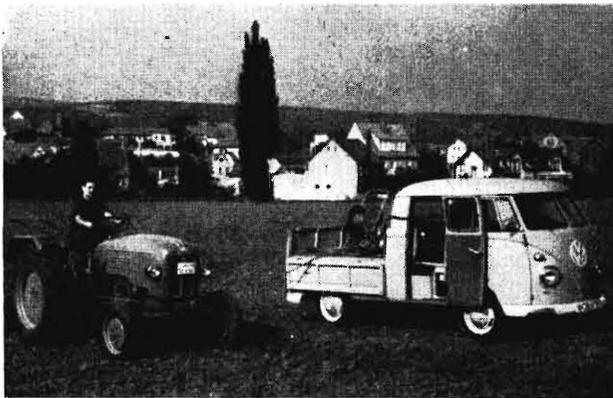


Bild 2. Der Meßwagen mit den Meßgeräten fährt bei Feldversuchen neben dem Schlepper her.



Bild 3. Bei Ladearbeiten mit dem Rad-Schaufellader kann der Meßwagen stationär aufgestellt werden.

selbstfahrenden Arbeitsmaschinen zu ermitteln¹⁾. Für die Personenwagen und Lastwagen wurde eine Strecke auf Asphaltstraße mittlerer Qualität (teils wellig, teils glatt, teils ausgebessert, jedoch ohne Schlaglöcher) gewählt, die von den Personenwagen mit gleicher Durchschnittsgeschwindigkeit, von den Lastwagen mit den ihrer Motorleistung entsprechenden Fahrgeschwindigkeiten gefahren wurde. Diese Strecke wurde auch von einem Schlepper gefahren. Im übrigen arbeiteten die Schlepper und Erdbaumaschinen unter praktischen, durch den Versuch nicht beeinflussten Bedingungen.

Der Aufbau und die technischen Daten der Meßinstrumente sowie die Methodik der statistischen Auswertung wurden bereits in früheren Arbeiten ausführlich besprochen [5; 6]. Hier soll nur darauf hingewiesen werden, daß das Klassiergerät bei unseren Versuchen die Amplituden der Beschleunigung mit einer

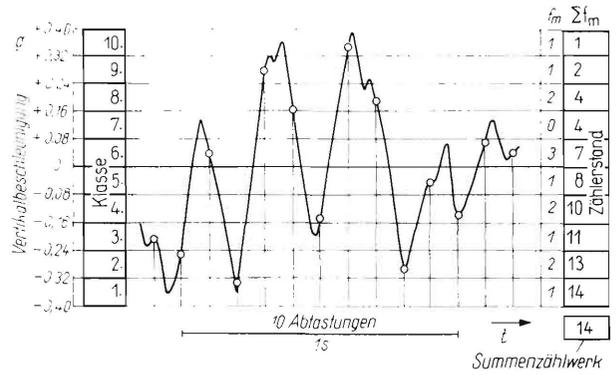


Bild 4. Meßprinzip des Klassiergerätes.

Die Abtastung der Beschleunigungskurve (elektrische Spannung) erfolgt in Abständen von $\frac{1}{10}$ s von der äußersten Randklasse her. Daher entspricht der Zählerstand Σf_m in den einzelnen Klassen der Summenhäufigkeit und ergibt sich aus der Häufigkeit des Durchganges der Abtastungen durch die einzelnen Klassenbereiche.

Frequenz von 10/s abtastete und in 11 Klassen einordnete, **Bild 4.** Bei einer Versuchszeit von etwa 17 min wurden jeweils 10 000 Abtastungen vorgenommen. Über die Ermittlung der Summenhäufigkeit und der absoluten Häufigkeit erfolgte nach dem Verfahren von Koller [7] die Errechnung der mittleren quadratischen Abweichung σ als Maß der Streuung, das — entsprechend den Begriffen in der Elektrizität — mit dem Effektivwert vergleichbar ist und daher als Meßzahl für die Schwingbeanspruchung über der Zeit angesehen werden kann.

Meßergebnisse und Auswertung

Die Summenhäufigkeit der Meßwerte in den einzelnen Klassen ergibt bei Eintragung im Wahrscheinlichkeitsnetz stets annähernd eine Gerade, **Bild 5.** Bei Aufzeichnung der absoluten Häufigkeit der Meßwerte in den einzelnen Klassen zeigen sich für alle Versuche annähernd Gaußsche Normalverteilungen, die aus Mittelwert, Streuung und Klassenbreite genau berechnet werden können. Solche Gaußschen Kurven sind für 10 Versuche in den **Bildern 6 bis 15** wiedergegeben. Hierbei wurde für alle Kurven derselbe Maßstab gewählt. Der Vergleich zeigt, ausgehend von bestgefederten Personenwagen über Lastwagen,

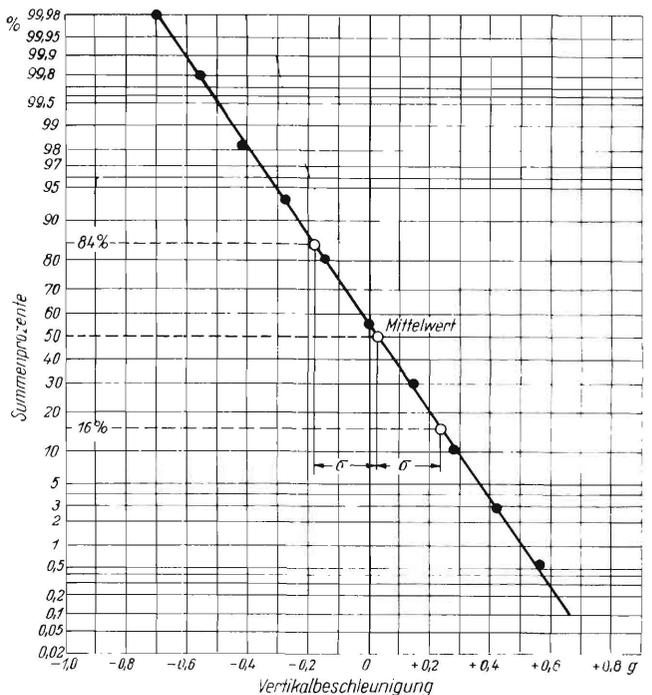
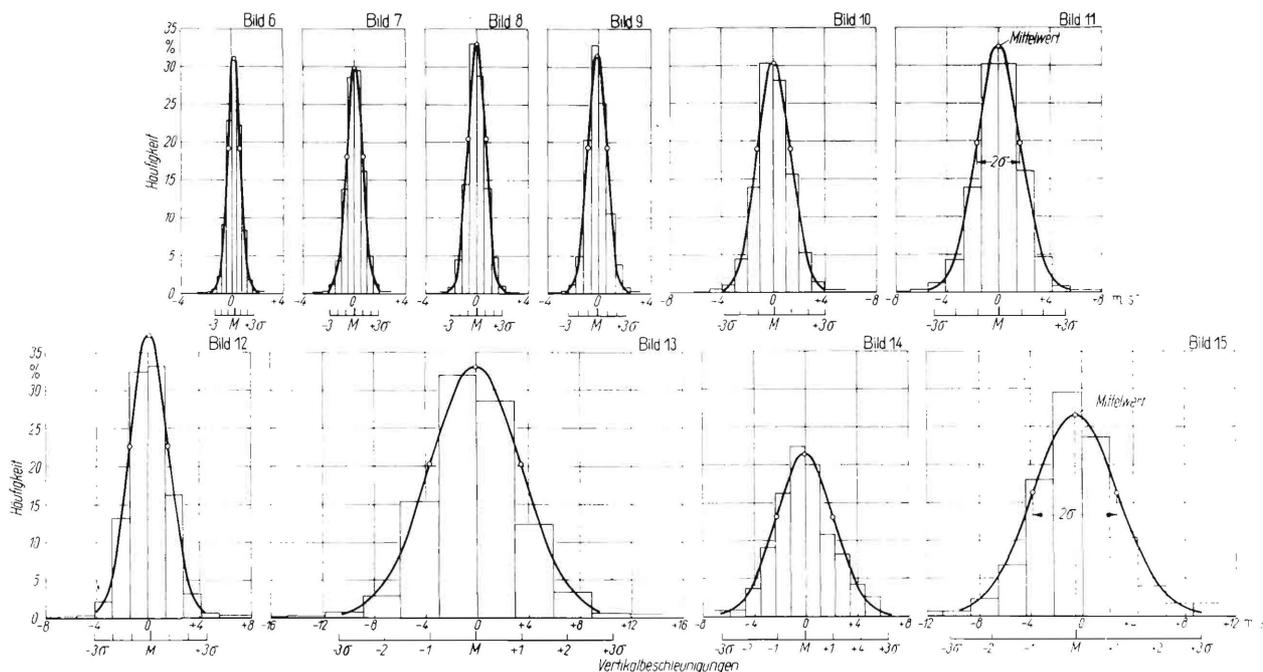


Bild 5. Summenhäufigkeit der Meßwerte im Wahrscheinlichkeitsnetz.

σ Streuung (mittl. quadr. Abweichung)

¹⁾ Bei der Ausarbeitung der Meß- und Auswertverfahren hatte H. A. Broicher wesentlichen Anteil, dem ich an dieser Stelle für die wertvolle Mitarbeit Dank sagen möchte.



Bilder 6 bis 15. Die Häufigkeitsverteilungen der gemessenen vertikalen Schwingbeschleunigungen (Stufenkurve) und die entsprechenden Gaußschen Häufigkeitsverteilungen. Fahrzeug, Fahrweg und Fahrgeschwindigkeit siehe Tafel 1.

Radschlepper bis zu den gleislosen Erdbaumaschinen, verschiedene Häufigkeitsverteilungen, die bei geringer Schwingbeanspruchung sehr steil und schmal, bei großen Beschleunigungen breit und weit ausladend sind. Außerdem ist in diesen Bildern jeweils die doppelte quadratische Abweichung 2σ , also der doppelte Effektivwert eingezeichnet.

Die Effektivwerte für die 10 Versuche nach **Bild 6 bis 15** sowie Messungen an weiteren Fahrzeugen zeigt **Tafel 1**. Zum besseren Vergleich wurden die Effektivwerte nicht nur im Absolutmaß $[m/s^2]$, sondern auch relativ angegeben, wobei die senkrechten Schwingbeschleunigungen in dem besten, von uns gemessenen Personenwagen gleich 100 gesetzt wurden (Versuch 1). Die Ergebnisse lassen folgendes erkennen:

1. Die Effektivwerte der auf Fahrer von Personenkraftwagen wirkenden senkrechten Schwingbeschleunigung liegen zwischen $0,5$ und $0,8 m/s^2$, wobei die Schwingungen in dem 1,2-l-Wagen, einem leichten drehstabgefederten Personenzug, fast 50% höher liegen als in dem 1,9-l-Wagen mit hydro-pneumatischer Federung (Versuch 1).
2. In Lastwagen und Transportern sind die Schwingungen gegenüber Personenzug (Versuch 1) 2- bis 3,5mal so groß, wobei leichtere Fahrzeuge und die Fahrzeuge im beladenen Zustand noch am günstigsten abschneiden.
3. Schlepperarbeiten mit geringer Fahrgeschwindigkeit auf dem Acker (Vollerntemaschine, Versuch 9) verursachen nur geringe Schwingungen, das Eggen auf gepflügtem Boden (Versuch 10)

Tafel 1. Mit Klassiergerät ermittelte vertikale Schwingbeschleunigungen zwischen Sitz und Fahrer bei verschiedenen Fahrzeugen und Arbeitsmaschinen

Ver- such Nr.	Fahrzeug	Fahrbahn	Fahr- geschwin- digkeit i. M. km/h	Häufigkeits- verteilung siehe	Vertikalbeschleunigungen zwischen Fahrer und Sitz		
					Effektivwert σ		Maximal- wert 3σ m/s ²
					absolut m/s ²	relativ %	
1	1,9-l-Personenwagen mit hydro- pneumatischer Federung	mittlere Asphaltstraße	47	Bild 6	0,51	100	1,53
2	2,2-l-Personenwagen	mittl. Asphaltstraße	47	Bild 7	0,65	127	1,95
3	1,5-l-Personenwagen	mittl. Asphaltstraße	47	Bild 8	0,68	133	2,04
4	1,2-l-Personenwagen	mittl. Asphaltstraße	47	Bild 9	0,76	149	2,28
5	1,2-l-Transporter	mittl. Asphaltstraße	47	—	1,10	216	3,30
6	2-t-Lastwagen, beladen	mittl. Asphaltstraße	38	Bild 10	1,32	259	3,96
7	2-t-Lastwagen, unbeladen	mittl. Asphaltstraße	45	—	1,45	284	4,35
8	5,2-t-Lastwagen, unbeladen	mittl. Asphaltstraße	37	Bild 11	1,70	334	5,10
9	25-PS-Radschlepper mit Kartoffelvollerntemaschine	weicher Ackerboden	1	—	0,38	75	1,14
10	25-PS-Radschlepper beim Eggen	gepfl. Ackerboden	6,8	Bild 12	1,44	283	4,32
11	25-PS-Radschlepper beim Transport	mittl. Asphaltstraße	19	—	2,53	496	7,59
12	25-PS-Radschlepper beim Transport	Feldweg	17	Bild 13	3,50	687	10,50
13	100-PS-Planier-Kettenschlepper beim Planieren	Feldweg	4	—	1,01	198	3,03
14	70-PS-Rad-Schaufellader beim Erdeladen	Baugelände	—	—	1,03	202	3,09
15	65-PS-Erdhobel (Grader) beim Wegeplanieren	Feldweg	11	Bild 14	2,15	422	6,45
16	305-PS-Schürfkübelwagen (Scraper) beladen	unbefest. Bauweg	22	Bild 15	3,25	637	9,75

jedoch schon fast 3mal, Transportfahrt auf Asphaltstraße (Versuch 11) 5mal und Transporte auf Feldweg (Versuch 12) fast 7mal so große Schwingungen wie der bestgefederte Personenwagen (Versuch 1).

4. Bei den Erdbaumaschinen kommen die geringsten Schwingungen wegen der langsamen Geschwindigkeit bei Planierkettenschleppern (Versuch 13) und Rad-Schaufelladern (Versuch 14) vor. Die Schwingungen sind beim Planieren mit dem Grader (Versuch 15) jedoch 4,5mal und beim Erdtransport mit dem Scraper (Versuch 16) 6,5mal so groß wie bei dem Personenwagen (Versuch 1).

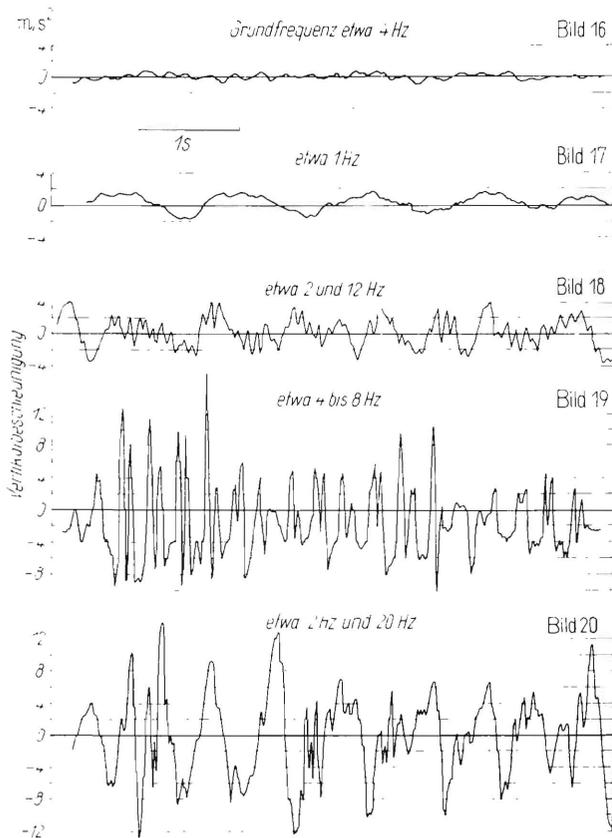


Bild 16 bis 20. Beispiele für den Verlauf der Vertikalbeschleunigungen (Amplitude und Frequenz) an Sitzen verschiedener Fahrzeuge.

Bild 16. Schwere Personenwagen auf Asphaltstraße (Versuch 1)

Bild 17. Schwere Personenwagen wie in Bild 16, jedoch auf welliger Fahrstrecke

Bild 18. Beladener 2-t-Lastwagen auf Asphaltstraße

Bild 19. Schlepper mit schlechtem Sitz beim Befahren eines Feldweges

Bild 20. Unbeladener Schürfkübelwagen

Neben den Effektivwerten sind in Tafel 1 auch „Maximalwerte“ aufgeführt, die sich aus der dreifachen Streuung, also 3σ , ergeben. Da nach den Definitionen der Statistik bei Gaußschen Normalverteilungen der Bereich von $\pm 3\sigma$ 99,75% aller Stichproben enthält, würden demnach nur 0,25% der gesamten Meßwerte die mit 3σ angegebenen „Maximalwerte“ überschreiten. Das ist bei unseren Versuchen nicht immer der Fall, weil gelegentlich einzelne Fahrbahnstöße zu Meßwerten führen, die außerhalb der Normalverteilung liegen, so daß eine exakte Gaußsche Normalverteilung in den Randgebieten nicht immer gegeben ist. Diese aus dem Rahmen fallenden Werte sind in ihrer Häufigkeit jedoch sehr gering, weil bei der Wahl des Meßbereiches im Vorversuch jeweils darauf geachtet wurde, daß nur 0,1 bis 1% der Meßwerte in die Randklassen fiel. Wie auch die Häufigkeitsverteilungen in den Bildern 6 bis 15 zeigen, schließt der Bereich von $\pm 3\sigma$ so viele Meßwerte ein, daß für unsere Betrachtung die dreifache Streuung 3σ als „Maximalwert“ angesehen werden kann.

Frequenzbewertung erforderlich

Die in der vorliegenden Untersuchung vorgenommene Beurteilung senkrechter Beschleunigungsamplituden allein ist unzureichend, da Schwingungen auch hinsichtlich ihrer Frequenzzusammensetzung bewertet werden müssen. Allerdings sind die arbeitsmedizinischen Kenntnisse über die Empfindlichkeit des Menschen auf verschiedene Schwingungsfrequenzen noch gering. Bekannt sind die kritischen Frequenzen 4 bis 5 Hz (Eigenfrequenz des gesamten menschlichen Körpers) und 20 Hz (Eigenfrequenz des Kopfes). Nach neueren röntgen-kinematographischen Untersuchungen scheint im Bereich von etwa 2 Hz eine Resonanzfrequenz für den Magen vorzuliegen.

Wenn auch eine vollständige Frequenzanalyse vom Standpunkt der physiologischen Belastung im Augenblick nicht notwendig zu sein scheint, kann doch eine Kenntnis der Grundfrequenzen unter den verschiedenen Fahrbedingungen von Nutzen sein. Es wurde deshalb bei allen Versuchen zusätzlich eine oszillographische Aufnahme der Schwingung vorgenommen. Einige Beispiele sind in **Bild 16 bis 20** wiedergegeben. Aus diesen Diagrammen läßt sich erkennen, daß gerade die Grundfrequenzen von 1 bis 2 Hz, 3 bis 4 Hz und zwischen 10 und 20 Hz, gegen die der menschliche Körper besonders empfindlich ist, sehr stark vertreten sind. In Arbeiten von Drechsler [8] wurden bei Schleppern ebenfalls Frequenzen im Bereich zwischen 2 und 5 Hz festgestellt.

Zusammenfassung

In der Untersuchung wird ein elektronisches Meßverfahren mit automatischer Klassierung der Meßwerte, das von technischen Untersuchungen her bekannt ist, zur Beurteilung der auf Fahrer verschiedener Kraftfahrzeuge einwirkenden Schwingbeschleunigungen verwendet. Außer Angaben über die vorkommenden Maximalbeschleunigungen ermöglichte die statistische Auswertung eine Errechnung der Effektivwerte der über der Zeit auftretenden Schwingbeschleunigung, da alle Meßergebnisse annähernd Gaußsche Normalverteilungen zeigten. Oszillogramme der Schwingungsvorgänge ließen die hauptsächlich vorkommenden Grundfrequenzen erkennen.

Die Vergleichsversuche ergaben, daß unter den gegebenen Versuchsbedingungen Lastwagenfahrer doppelten bis dreifachen, Fahrer auf Radschleppern und Erdbaumaschinen sogar bis nahezu siebenfachen Schwingbeschleunigungen gegenüber Fahrern in gut gefederten Personenwagen ausgesetzt sein können.

Schrifttum

- [1] Meister, F. J.: Schwingungsmessungen und ihre Bewertung für den Fahrkomfort. *Automobiltechn. Z.* **64** (1962) S. 65/69.
- [2] Dieckmann, D.: Einige Methoden zur Untersuchung des Schwingungsverhaltens von Kraftfahrzeugsitzen. *Automobiltechn. Z.* **64** (1962) S. 70/73.
- [3] Steinbrenner, H., und K. W. Dugge: Ein einfaches Verfahren zum Vergleich der Schwingungsverhältnisse und des Fahrkomforts ähnlicher Fahrzeuge. *Automobiltechn. Z.* **64** (1962) S. 73/77.
- [4] VDI-Richtlinien: Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. VDI 2057 (2. Entwurf) Dezember 1962.
- [5] Dupuis, H., und H. A. Broicher: Schwingungsuntersuchungen mit elektronischer Klassierung bei praktischen Fahrversuchen. *Landtechn. Forsch.* **12** (1962) S. 40/43.
- [6] Dupuis, H., und H. A. Broicher: Elektronisch-statistische Meßmethode zur quantitativen Bewertung von Fahrzeugschwingungen. *Automobiltechn. Z.* **64** (1962) S. 78/81.
- [7] Koller, S.: Graphische Tafeln zur Beurteilung statistischer Zahlen. Darmstadt: Verlag D. Steinkopff 1953. Seite 1 u. 2.
- [8] Drechsler, H.: Untersuchungen an Schleppersitzen. *Tag. ber. Nr. 40. Vorträge d. Wiss. Jahrestag. 1961.* Dtsch. Akad. d. Landwirtschaftswiss. Berlin 1961. S. 93/108.