

# Untersuchung des Schwingungsverhaltens von Ackerschleppern mit einer Leermasse über fünf Tonnen

Von Horst Weigelt und Horst Göhlich, Berlin\*)

DK 631.372

Die steigende Zahl der auf dem Markt befindlichen Ackerschlepper mit einer Leermasse über 5 t erfordert für die Auslegung einer abgestimmten Sitzfederung die Ermittlung der schwingungstechnischen Kenndaten der Schlepper dieser Gewichtsklasse. In umfangreichen Messungen unter Feldeinsatzbedingungen wurde das Schwingungsverhalten bestimmt, wozu die Ergebnisse hier vorgelegt werden. Die Ergebnisse zeigen die Möglichkeit einer Einordnung der Schlepper in eine weitere Klasse mit vergleichbarem Schwingungsverhalten.

## 1. Einleitung

Das Schwingungsverhalten von Standardschleppern wird wesentlich durch die Fahrzeugmasse, die Massenträgheitsmomente und die Federungseigenschaften der Reifen bestimmt. Aufgrund einer fehlenden Aufbaufederung stellen die großvolumigen Fahrzeugreifen die einzigen zwischen der Fahrbahnanregung und dem Schlepper wirksamen Feder- und Dämpferelemente dar. Das geringe Dämpfungsvermögen der Reifen [1] führt bei einer Anregung in den Eigenfrequenzen zu großen Resonanzüberhöhungen und in Verbindung mit ansteigenden Fahrgeschwindigkeiten zu hohen Schwingbeschleunigungen [2]. Diesen Abhängigkeiten ist in stärkerem Maße Bedeutung zuzumessen, da die Bestrebungen nach Steigerung der Produktivität der eingesetzten Maschinen und Arbeitsgeräte die Forderung nach Verkürzung der Wegezeiten für Transportaufgaben und Feldanfahrten bei sich vergrößernden Wegstrecken bewirkt. Ebenfalls ist auch eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeiten bei Feldarbeiten von Interesse, die nicht verfahrensbedingten Geschwindigkeitsbeschränkungen unterliegen.

Die gesundheitsschädigende Wirkung starker auf den Menschen einwirkender Fahrerschwingungen, die geschwindigkeitsabhängig besonders beim Befahren unbefestigter Fahrbahnen auftreten, ist in verschiedenen Untersuchungen [3, 4, 5] eindeutig nachgewiesen worden. Dies führte zur Festlegung eines Grenzwertes für den bewerteten Beschleunigungseffektivwert mit  $1,25 \text{ m/s}^2$  als die Schwingungsbelastung, die ohne Gesundheitsgefährdung über längere Zeiträume ertragbar ist [6]. Zum Schutz des Fahrers vor den auf dem Schlepper in der Regel erheblich höher liegenden Schwingbeschleunigungen werden gefederte Fahrersitze eingesetzt, die die in den Sitz eingeleiteten Schwingungen bis unter diesen Grenzwert abbauen. Zur Erzielung einer guten Schwingungsisolierung ist eine Abstimmung der Federungs- und Dämpfungseigenschaften der Sitze auf das Schwingungsverhalten der verschiedenen Schlepper notwendig [7, 8, 9].

Dieser Beitrag faßt die Ergebnisse einer Forschungsaufgabe zusammen, die von der Landmaschinen- und Ackerschlepper-Vereinigung (LAV) über das Forschungskuratorium Maschinenbau (FKM) gestellt und vom Bundesministerium für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AIF) gefördert wurde (AIF-Nr. 4903). Die Untersuchungen zu diesem Vorhaben wurden an der Technischen Universität Berlin im Fachgebiet Landtechnik und Baumaschinen unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. H. Göhlich durchgeführt und von einer Projektgruppe der LAV betreut, die unter der Federführung von Herrn Dipl.-Ing. W. Hüneke, John Deere Mannheim, stand. Auch diesem Arbeitskreis gebührt besonderer Dank für die konstruktive Mitarbeit.

\*) Dipl.-Ing. H. Weigelt ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Landtechnik und Baumaschinen der Technischen Universität Berlin; Prof. Dr.-Ing. H. Göhlich ist Leiter dieses Instituts.

## 2. Das Schwingungsverhalten von Ackerschleppern mit einer Leermasse bis 5 t

Zur Formulierung allgemeingültiger Anforderungen für die Federung von Fahrersitzen ist die Kenntnis des Schwingungsverhaltens der Schlepper der interessierenden Gewichtsklasse eine unumgängliche Voraussetzung. In einer diesbezüglichen grundlegenden Untersuchung der TU Berlin [10] sind für Schlepper der Gewichtsklasse bis 5 t Leermasse die zur Beurteilung notwendigen schwingungstechnischen Daten experimentell ermittelt worden.

Die Fahrversuche wurden sämtlich auf der international anerkannten Vergleichsfahrbahn "smooth track" [6] mit einer repräsentativen Auswahl von Schleppern (leer) der betrachteten Gewichtsklasse durchgeführt. Die Fahrgeschwindigkeit wurde mit 12 km/h festgelegt.

Aus den Ergebnissen der so durchgeführten Schwingungsuntersuchung konnte eine allgemeingültige Unterteilung der untersuchten Schlepper in zwei Klassen mit jeweils vergleichbarem Schwingungsverhalten abgeleitet werden. Die Aussage über eine Vergleichbarkeit beruht auf der Auswertung der für die Hubbeschleunigung am Sitzbefestigungsflansch ermittelten Leistungsdichtespektren sowie der zugehörigen Mittenfrequenzen, den Frequenzen, die im jeweiligen Frequenzspektrum den höchsten Wert der Leistungsdichte aufweisen. Aufgrund der durchgeführten Klasseneinteilung konnte für jede Klasse ein charakteristisches Sitzanregungssignal abgeleitet werden. Dies ermöglicht wesentliche Vereinfachungen in der Federauslegung der Sitze sowie in der eigentlichen Sitzprüfung und Beurteilung. Ebenfalls ist dies die entscheidende Voraussetzung, daß Sitzprüfungen auf einer Hydropulsanlage durchgeführt werden können.

Bild 1 zeigt die beiden aus den Schwingungsuntersuchungen abgeleiteten Beschleunigungsspektren der Sitzanregungssignale. Deutlich ist die aufgrund des schwach gedämpften Schwingungsverhaltens bei Schleppern erwartete Schmalbandigkeit der Spektren zu erkennen. Weiter zeigt sich eine Abnahme der Mittenfrequenz mit steigender Schleppermasse.

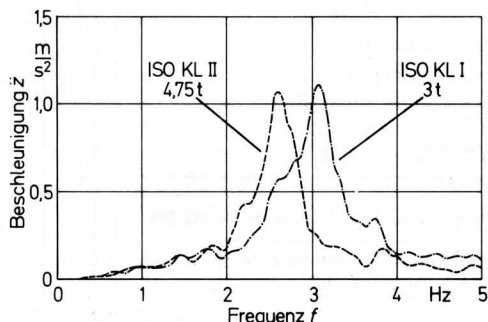


Bild 1. Amplitudenspektren der Sitzanregungsbeschleunigung für Schlepper der Klasse I und II.

### 3. Untersuchung des Schwingungsverhaltens von Ackerschleppern mit einer Leermasse über 5 t

Durch die steigende Anzahl der auf dem europäischen Markt befindlichen Schlepper mit einer Leermasse über 5 t gewinnt das Problem der Sitzauslegung und vor allem der Sitzprüfung für Schlepper dieser Gewichtsklasse zunehmend an Bedeutung. Eine Extrapolation der bislang für Schlepper bis 5 t vorliegenden schwingungstechnischen Daten auf größere Einheiten ist problematisch, da hier entscheidende Veränderungen der konstruktiven Randbedingungen vorliegen und der Einfluß von Arbeitsgeräten, die aufgrund ihrer Dimensionen eine größere Signifikanz für das Schwingungsverhalten des Schleppers haben, nicht mehr vernachlässigt werden kann. Daß es bereits bei der Anwendung des Klasse II-Spektrums bei einer zusätzlichen Berücksichtigung von Feldarbeiten hinsichtlich der Mittenfrequenz zu Problemen kommen kann, zeigt eine Auswertung in [11], in der auch für Schlepper mit einer Leermasse unter 5 t sehr niedrige Mittenfrequenzen ermittelt wurden. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es somit, eine breitere Beurteilungsbasis für das Schwingungsverhalten von Schleppern der Gewichtsklasse über 5 t zu erarbeiten. Dazu dient eine Ausdehnung der Versuche auf schwingungsintensive Arbeiten, die mit diesen Schleppern durchgeführt werden, **Bild 2**, bei Berücksichtigung einer angemessenen Abstimmung zwischen Schlepper und verwendetem Gerät.

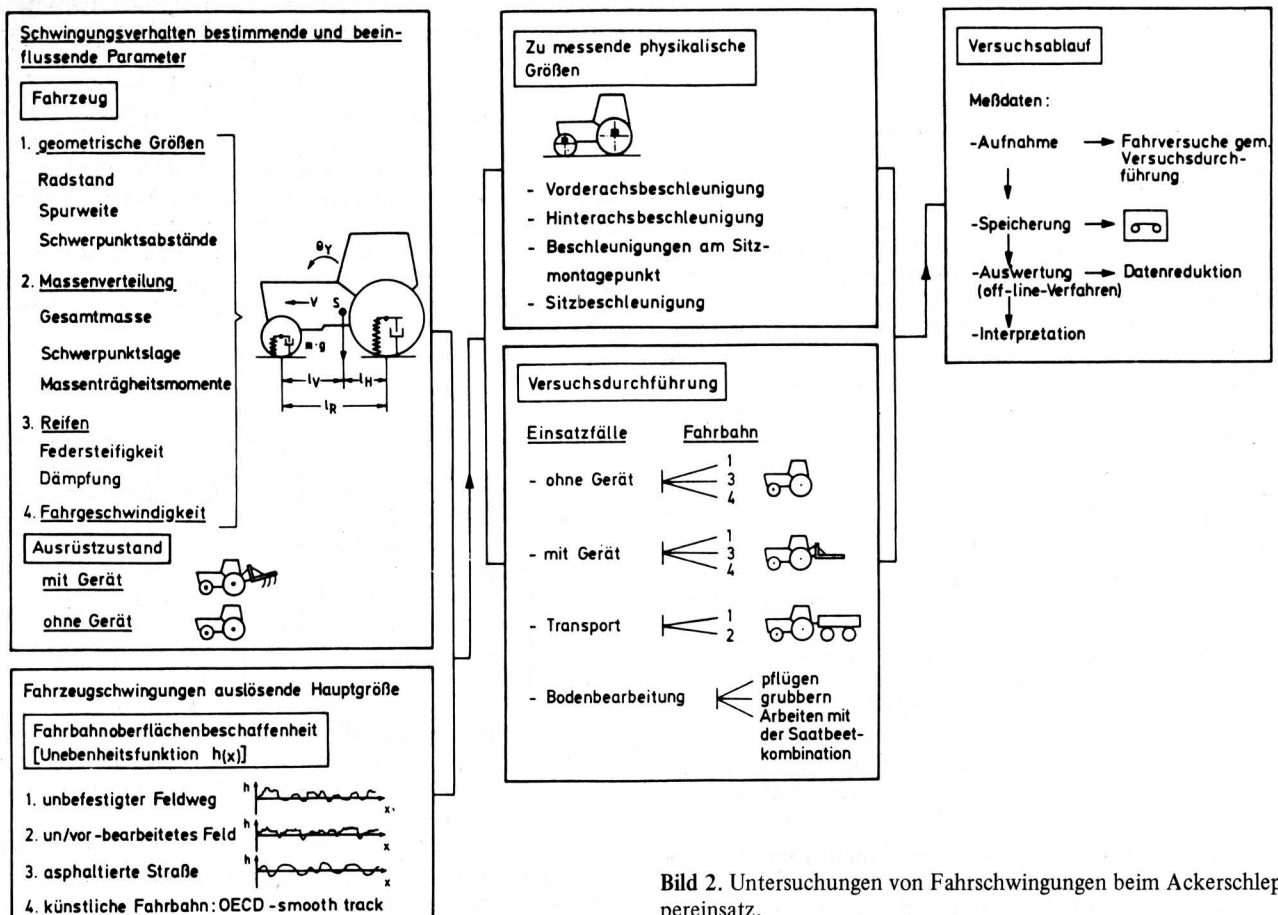
#### 3.1 Anforderungen an die Meßtechnik

Feldmessungen, die kurzfristig an unterschiedlichen Versuchsträgern und unter stark wechselnden Randbedingungen durchgeführt werden sollen, verlangen von der eingesetzten Meßtechnik größtmögliche Flexibilität und Robustheit. Zur Reduzierung der Rüstzeit ist der verwendete Meßaufbau so konzipiert, daß die Meßwertaufnahme räumlich von der Meßwertaufzeichnung getrennt ist,

**Bild 3.** Die Anzahl der auf dem Versuchsfahrzeug benötigten Geräte läßt sich somit wesentlich verringern und die durch Fahr-schwingungen erschwerte und zum Teil nicht mögliche Aufzeichnung der Meßwerte auf dem Fahrzeug kann vereinfacht werden. Die Meßwertübertragung erfolgt mittels einer Telemetrieanlage vom Versuchsfahrzeug zum stationären Meßwagen, in dem die während des Versuchs einlaufenden Meßdaten auf einem Datenträger (PCM-Technik) aufgezeichnet werden. Eine parallel zur Aufzeichnung verlaufende Kontrolle der Meßsignale erlaubt ein frühzeitiges Erkennen von Störungen. Die eigentliche Auswertung der Messungen erfolgt im "off-line"-Verfahren nach Abschluß der Fahrversuche mit Hilfe entsprechender Rechnerprogramme.

#### 3.2 Versuchsdurchführung

Um den experimentellen und zeitlichen Gesamtaufwand ohne Einschränkung der Allgemeingültigkeit der gewonnenen Aussagen zu begrenzen, ist eine Konzentration der Versuche auf die wesentlichen zeit- und schwingungsintensiven Einsatzfälle notwendig. Es wird somit davon ausgegangen, daß Schlepper der betrachteten Gewichtsklasse in erster Linie für die Primärbodenbearbeitung und für den Transport eingesetzt werden. In Verbindung mit der Bodenbearbeitung ist die Feldanfahrt mit dem entsprechenden Arbeitsgerät zu sehen. Basierend auf diesen Einsatzfällen, wurde eine repräsentative Auswahl verschiedener Schlepper der Gewichtsklasse 5–10 t untersucht. Die verwendeten Arbeitsgeräte wurden entsprechend ihrer Leistungs- und Gewichtsdaten auf den jeweiligen Schlepper abgestimmt. Als Fahrbahn für Feldanfahrten dienten unbefestigte Feldwege, für die in einer Voruntersuchung ein Fahrgeschwindigkeitsrichtwert von 20 km/h ermittelt wurde. Transportfahrten wurden mit beladenen Anhängern mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf asphaltierten Wirtschaftswegen durchgeführt. Da instationäre Fahrzustände, wie Brems- und Beschleunigungsvorgänge, nicht Gegenstand der Untersuchungen waren, wurde die Fahrge-



**Bild 2.** Untersuchungen von Fahr-schwingungen beim Ackerschleppereinsatz.

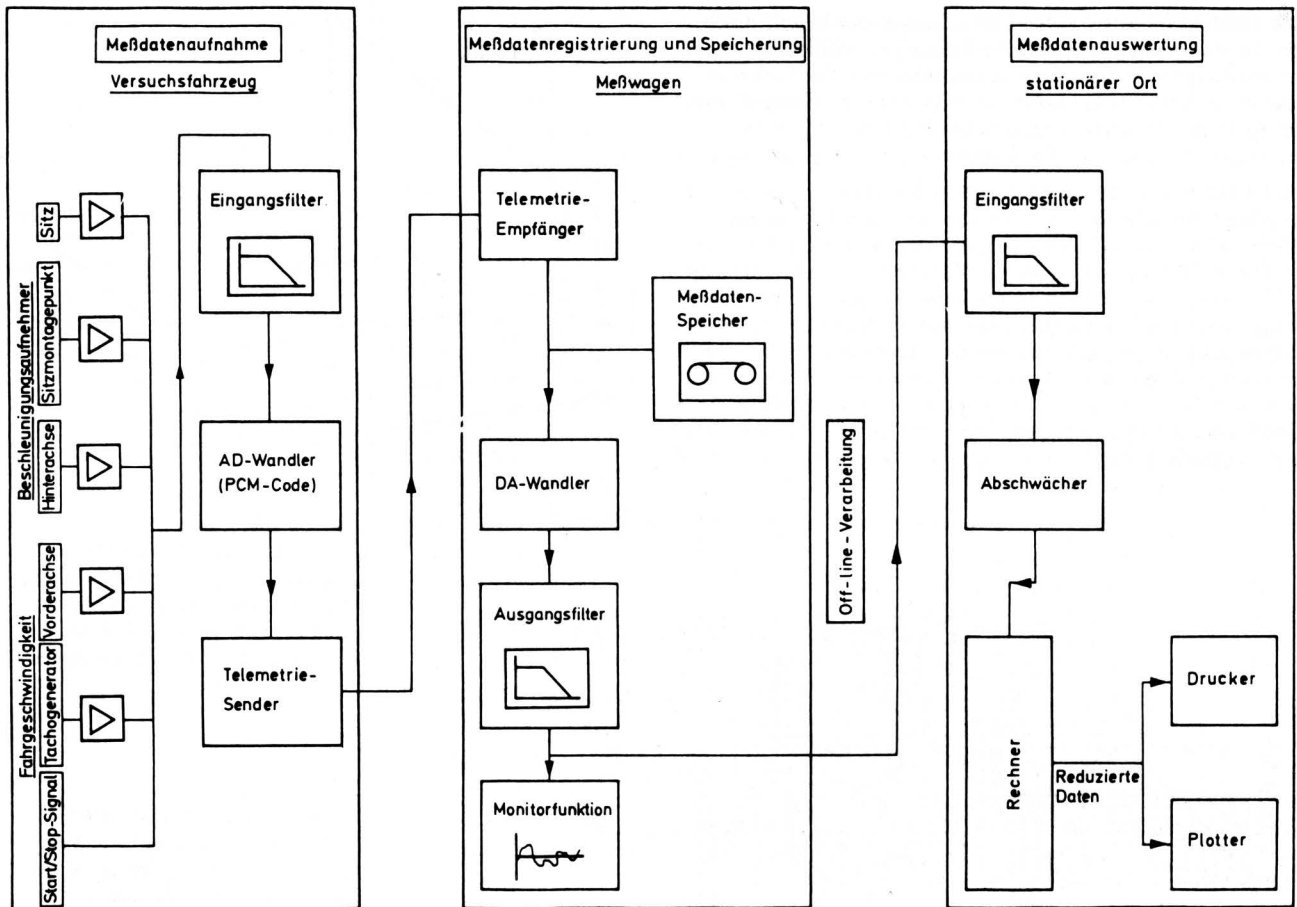


Bild 3. Blockschaltbild der Meßkette für die experimentelle Ermittlung des Schwingungsverhaltens von Schleppern.

schwindigkeit während einer Messung konstant gehalten. Im Gegensatz zu reinen Laboruntersuchungen ist es bei Feldmessungen prinzipiell nicht möglich, ungewollte Störeinflüsse und Parameterschwankungen vollständig zu unterdrücken und eine exakte Reproduzierbarkeit der Messungen zu erreichen. Damit erhöht sich zwangsläufig die zu erwartende Streuung der Meßwerte. Um eine Erhöhung der statistischen Sicherheit zu erhalten, wurde jeweils eine Vielzahl von Wiederholungsmessungen durchgeführt.

Um abzuschätzen, inwieweit sich die Feldmessungen von Messungen auf der Vergleichsfahrbahn unterscheiden, wurden exemplarisch mit einigen Schleppern (leer) Vergleichsuntersuchungen auf dem Smooth-Track durchgeführt.

### 3.3 Meßdatenauswertung

Eine allgemeingültige Interpretation der ermittelten umfangreichen Meßdaten ist nur bei einer entsprechenden Datenreduktion möglich. Es werden somit die wichtigsten, das Schwingungsverhalten charakterisierenden statistischen Kenndaten:

$$\text{Beschleunigungseffektivwert } \ddot{z}_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \ddot{z}(t) dt}$$

$$\text{spektrale Leistungsdichte } \Phi(f) = \lim_{\Delta f \rightarrow 0} \frac{\ddot{z}_{\text{eff}}^2(f_m; \Delta f)}{\Delta f}$$

Mittenfrequenz der spektralen Leistungsdichte  $f_m$

ermittelt. Unter der Mittenfrequenz ist auch hier das Frequenzintervall  $\Delta f$  zu verstehen, in dem das Maximum der spektralen Leistungsdichte auftritt. Die Frequenzanalyse erfolgt digital über eine Fast-Fourier-Transformation [12] mit einer über das gesamte betrachtete Frequenzband konstanten Frequenzauflösung. Aufgrund der geringen Systemdämpfung bei Schleppern und den daraus resultierenden schmalbandigen Spektren ist es für eine hinreichend genaue Ermittlung der Mittenfrequenz notwendig, die Frequenzauflösung mit  $\Delta f = 0,1$  Hz relativ klein zu wählen.

Zur Darstellung von Abhängigkeiten und Verläufen wird eine weitere Meßwertverdichtung mit Hilfe von Polynomapproximationen nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate [13] durchgeführt.

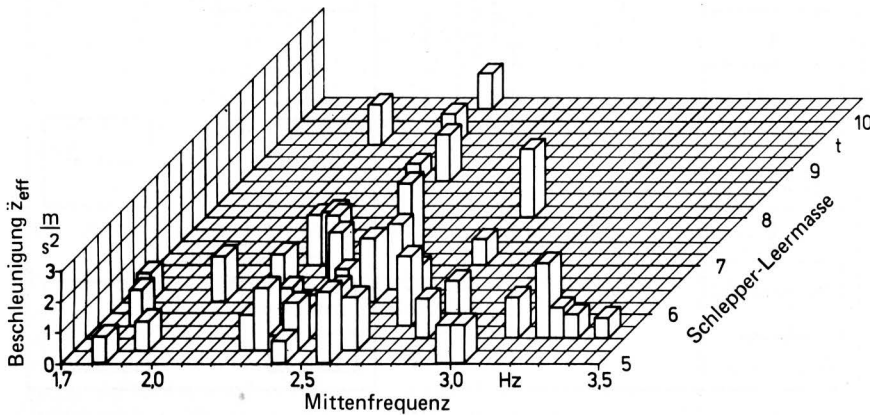
### 4. Untersuchungsergebnisse

Für die Beurteilung des Schwingungsverhaltens von Schleppern sind in erster Linie die spektrale Leistungsdichte und die jeweilige auf die Frequenzachse bezogene Lage des Maximums (Mittenfrequenz) ausschlaggebend. Die jeweilige absolute Höhe des Maximums des Spektrums und damit verbunden die Größe des Effektivwertes sind dagegen von untergeordneter Bedeutung, weil sie keinen unmittelbaren Aufschluß über das Schwingungsverhalten geben. Aus diesen Werten läßt sich lediglich ein Hinweis auf die Anregungsintensität, d.h. auf die Rauigkeit der Bodenunebenheiten in Verbindung mit der Fahrgeschwindigkeit ableiten. Ausgehend von der Linearität der untersuchten Schwingungssysteme, ist es für die Anwendung der gewählten Auswertverfahren hinreichend, wenn die verwendeten Fahrbahnen in guter Näherung die statistische Forderung der Ergodizität erfüllen und die Anregungsintensität für das System realistisch ist.

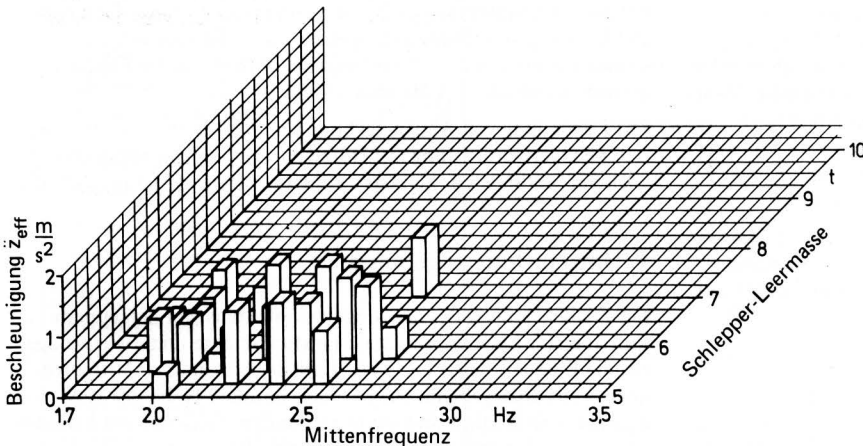
Die in der Untersuchung ermittelten Effektivwerte können somit als Anhaltspunkt für die Beschleunigungen gelten, die bei den betrachteten Einsatzfällen auftreten.

Die nachfolgend dargestellten Versuchsergebnisse beziehen sich auf die jeweils am Sitzbefestigungsflansch gemessenen Hubbeschleunigungen. In Ergänzung zu den Messungen der TU Berlin sind in die Auswertung Ergebnisse anderer Untersuchungen (Institut für landtechnische Grundlagenforschung der FAL, Braunschweig-Völkenrode, und Fa. John Deere) mit einbezogen worden.

**Bild 4 und 5** geben für unterschiedliche Schleppermassen und Einsatzfälle einen Überblick über die Lage und Größe der gemessenen Mittenfrequenzen und unbewerteten Beschleunigungseffektivwerte. Die auffallende Streubreite der Meßwerte wird durch die Unterschiedlichkeit der Einsatzfälle, der Versuchsträger und der Fahrzeug/Geräte-Kombination hervorgerufen. Es zeigt sich deutlich, daß auch bereits für Schlepper mit einer Leermasse von 5–6 t relativ niedrige Mittenfrequenzen zu verzeichnen sind (Bild 4). Wie anhand von Bild 5 ersichtlich, treten bei der Bodenbearbeitung in der Regel niedrigere Mittenfrequenzen mit geringeren, auf die niedrigeren Fahrgeschwindigkeiten zurückzuführenden Effektivwerten auf.



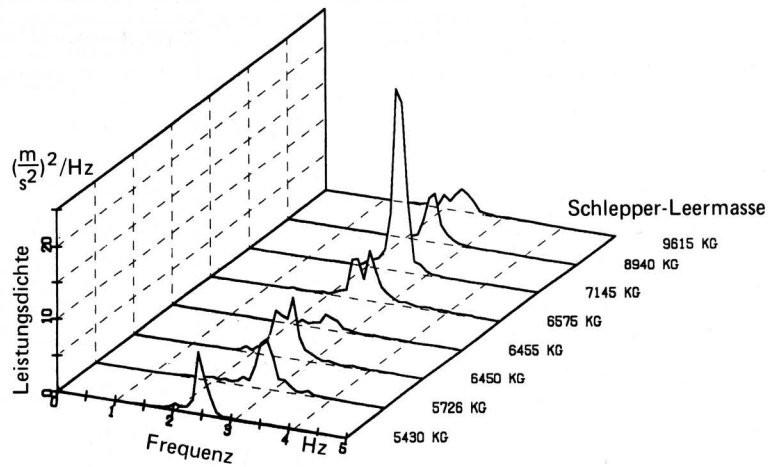
**Bild 4.** Unbewertete Beschleunigungseffektivwerte und Mittenfrequenzen am Sitzbefestigungsflansch für Schlepper mit  $m > 5$  t bei Berücksichtigung verschiedener landwirtschaftlicher Einsatzfälle.



**Bild 5.** Unbewertete Beschleunigungseffektivwerte und Mittenfrequenzen am Sitzbefestigungsflansch für Schlepper mit  $m > 5$  t für die Bodenbearbeitung.

#### 4.1 Spektrale Leistungsdichte

Die **Bilder 6 bis 11** zeigen exemplarisch für verschiedene Schlepper, Schlepper/Geräte-Kombinationen und Einsatzfälle den Verlauf der spektralen Leistungsdichte. In den "Übereinanderdarstellungen" sind zur besseren Vergleichbarkeit der Spektren untereinander extrem herausfallende Maxima von Einzelspektren unterdrückt.

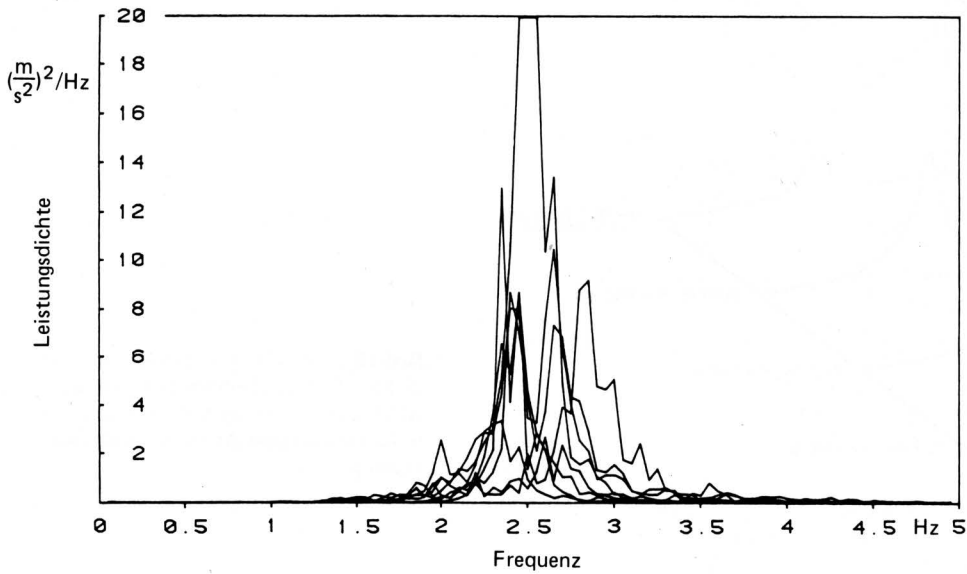


**Bild 6.** Unbewertete spektrale Leistungsdichte (PSD) der Hubbeschleunigung in Abhängigkeit von der Schlepper-Leermasse für Fahrten ohne Gerät auf einem unbefestigten Feldweg;  $v = 20$  km/h.

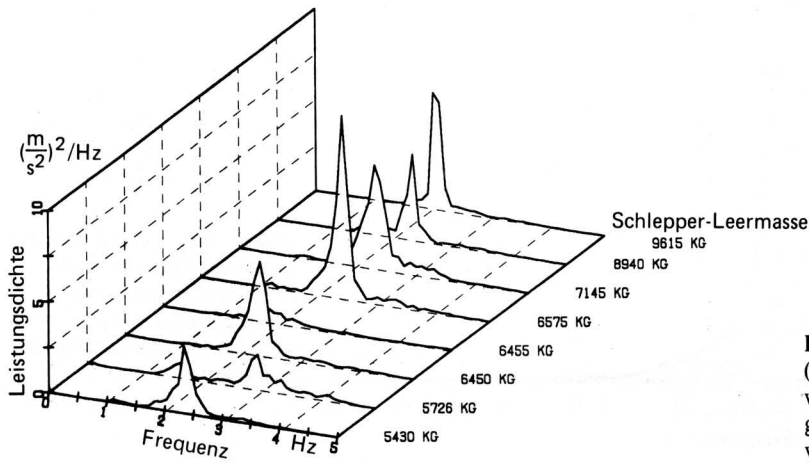
Die dargestellten Spektren unterscheiden sich voneinander im wesentlichen nur durch die jeweilige Höhe des Maximums und die Lage der Mittenfrequenz. Durch die 0,5–0,8 Hz betragende Halbwertsbreite der gemessenen Spektren kommt die aufgrund der geringen Systemdämpfung erwartete Schmalbandigkeit deutlich zum Ausdruck. Für die Vergleichbarkeit der Spektren untereinander ist zu beachten, daß ihre jeweilige Form auch von der Größe der Frequenzauflösung und der Art des Auswertverfahrens abhängt. Eine Auswertung nach der Terzbandanalyse führt in der Regel zu glatteren Spektren, wobei aber durch die größere Filterbandbreite eine ausreichend genaue Bestimmung der Mittenfrequenz nicht möglich ist.

Da die gemessenen Spektren in ihrer Form und Halbwertsbreite sehr starke Ähnlichkeiten aufweisen, zeigen sich die unterschiedlichen Effektivwerte lediglich in der absoluten Höhe des Maximums des jeweiligen Spektrums. Bei der Bodenbearbeitung fallen etwas breitere Spektren auf, was auf eine geringere Ausgangsintensität und damit verbunden eine schwächere Ausprägung der Fahrschwingungen zurückzuführen ist.

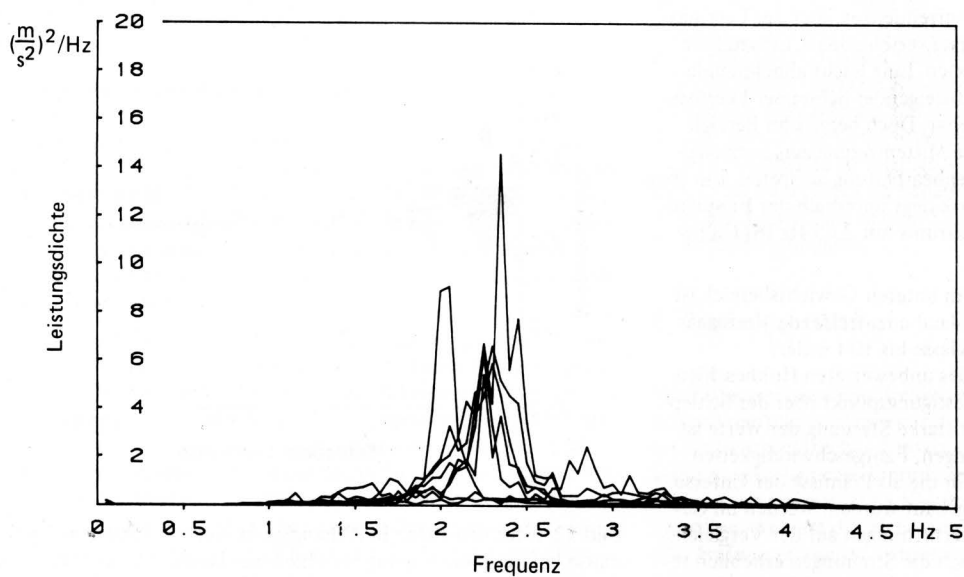
Die Auswertung der Spektren läßt somit die Aussage zu, daß die untersuchten Schlepper ein miteinander vergleichbares Schwingungsverhalten aufweisen. Eine Unterscheidung ist lediglich in der frequenzbezogenen Lage der Mittenfrequenzen vorzunehmen.



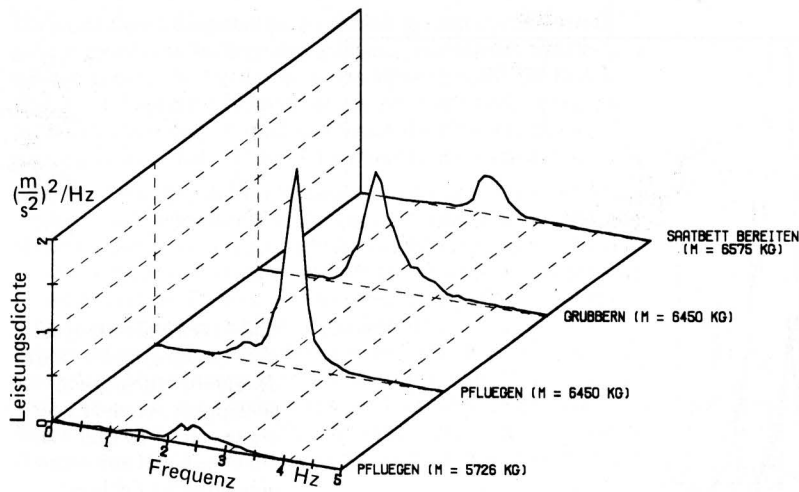
**Bild 7.** Unbewertete spektrale Leistungsdichte (PSD) der Hubbeschleunigung von Schleppern mit einer Leermasse von 5–10 t für Fahrten ohne Gerät auf einem unbefestigten Feldweg;  $v = 20$  km/h.



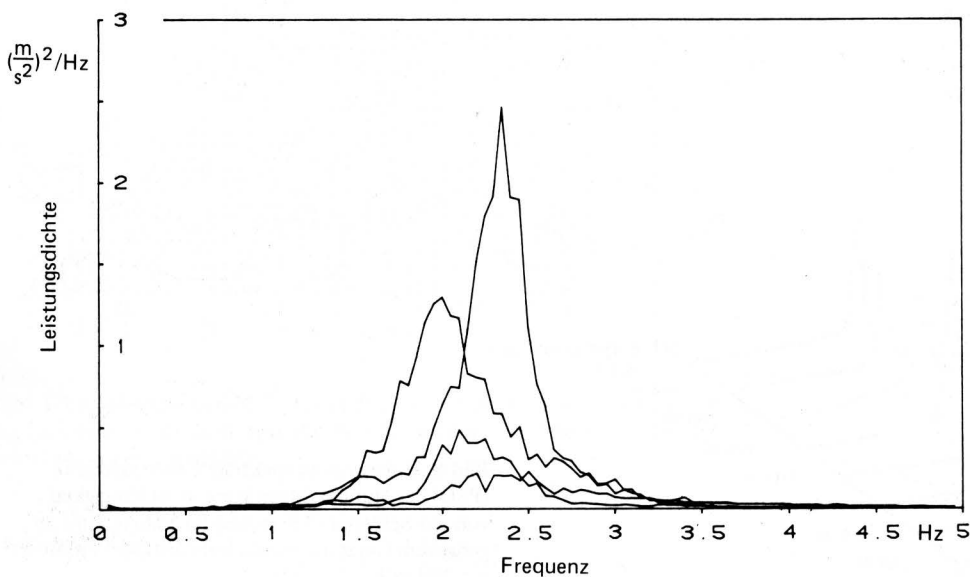
**Bild 8.** Unbewertete spektrale Leistungsdichte (PSD) der Hubbeschleunigung in Abhängigkeit von der Schlepper-Leermasse für Fahrten mit angebautem Gerät auf einem unbefestigten Feldweg;  $v = 20$  km/h.



**Bild 9.** Unbewertete spektrale Leistungsdichte (PSD) der Hubbeschleunigung von Schleppern mit einer Leermasse von 5–10 t für Fahrten mit angebautem Gerät auf einem unbefestigten Feldweg;  $v = 20$  km/h.



**Bild 10.** Unbewertete spektrale Leistungsdichte (PSD) der Hubbeschleunigung in Abhängigkeit von der Schlepper-Leermasse für verschiedene Arten der Bodenbearbeitung.



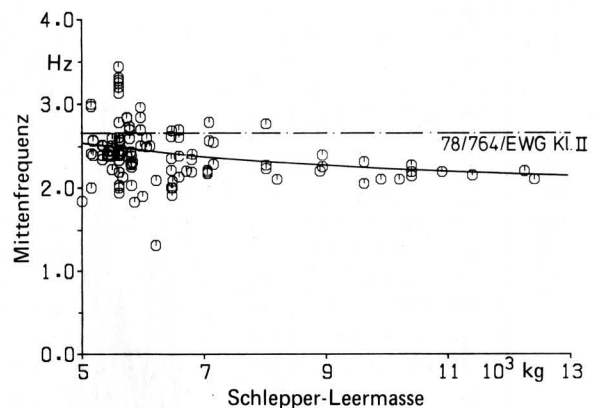
**Bild 11.** Unbewertete spektrale Leistungsdichte (PSD) der Hubbeschleunigung von Schleppern mit einer Leermasse von 5–10 t für die Bodenbearbeitung.

#### 4.2 Mittenfrequenzen und Beschleunigungseffektivwerte

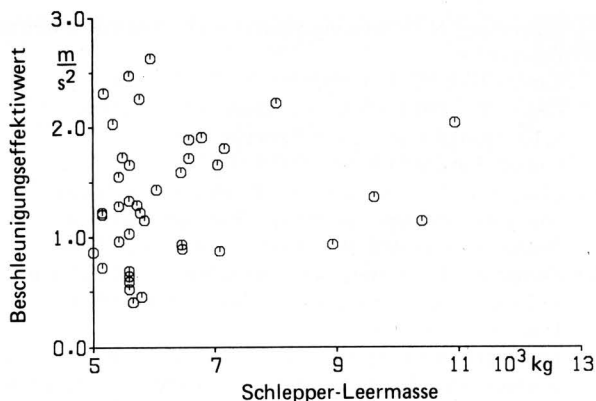
Bild 12 zeigt den Verlauf der Mittenfrequenzen über der Leermasse der Schlepper bei Berücksichtigung verschiedener Einsatzfälle und Schlepper/Geräte-Kombinationen. Eine leicht abnehmende Tendenz der Mittenfrequenz mit ansteigender Schlepper-Leermasse ist anhand der Meßwerte erkennbar. Doch bereits im Bereich 5–7 t sind ebenfalls relativ niedrige Mittenfrequenzen festzustellen, die hauptsächlich bei der Bodenbearbeitung auftreten. Ein überwiegender Teil der ermittelten Werte liegt unterhalb der Frequenz, für die Klasse II des Anregungsspektrums mit 2,65 Hz [6] Gültigkeit hat.

Die Konzentration der Meßwerte im unteren Gewichtsbereich ist zufällig und spiegelt die in Deutschland anzutreffende Verfügbarkeit von Schleppern der Gewichtsklasse bis 10 t wider.

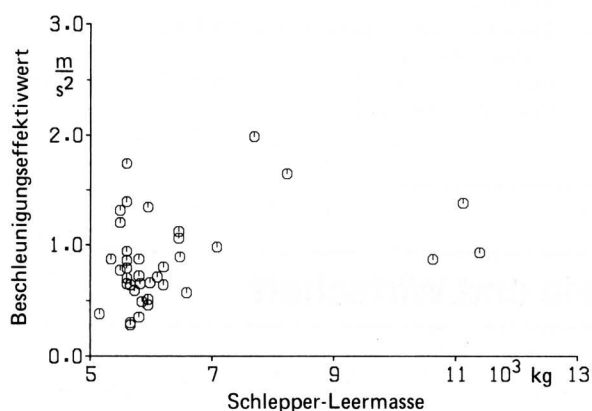
In Bild 13 und 14 ist der Verlauf des unbewerteten Hubbeschleunigungs-Effektivwertes am Sitzbefestigungspunkt über der Schlepper-Leermasse dargestellt. Die sehr starke Streuung der Werte ist auf unterschiedliche Bodenregungen, Fahrgeschwindigkeiten und Einsatzfälle zurückzuführen, für die als Prämisse der Untersuchung keine Einschränkungen aufgebaut wurden. Werden im Gegensatz zu Feldmessungen die Untersuchungen auf der Vergleichsfahrbahn durchgeführt, so lassen sich die Streuungen erheblich reduzieren.



**Bild 12.** Mittenfrequenz in Abhängigkeit von der Schlepper-Leermasse bei Berücksichtigung verschiedener landwirtschaftlicher Einsatzfälle.



**Bild 13.** Unbewerteter Beschleunigungseffektivwert der Hubbeschleunigung in Abhängigkeit von der Schlepper-Leermasse bei Berücksichtigung verschiedener landwirtschaftlicher Einsatzfälle.



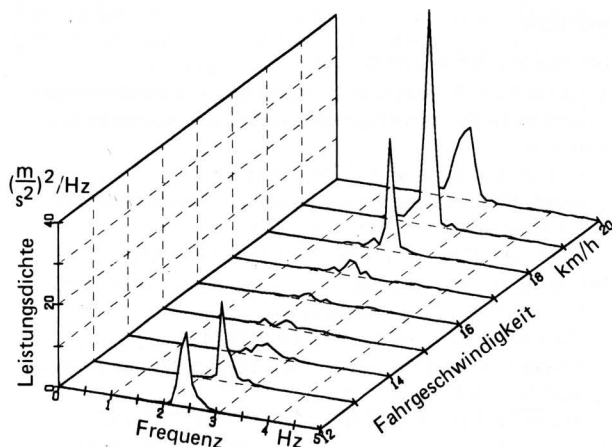
**Bild 14.** Unbewerteter Beschleunigungseffektivwert der Hubbeschleunigung in Abhängigkeit von der Schlepper-Leermasse für die Bodenbearbeitung.

Anhand der Werte ist erkennbar, daß erwartungsgemäß aufgrund geringerer Fahrgeschwindigkeiten bei der Bodenbearbeitung in der Regel niedrigere Beschleunigungseffektivwerte auftreten. Ein nicht zu vernachlässigender Anteil der Meßwerte überschreitet bei den betrachteten Einsatzfällen dennoch einen Pegel, der bei Dauerbelastung als gesundheitsschädigend angesehen werden muß.

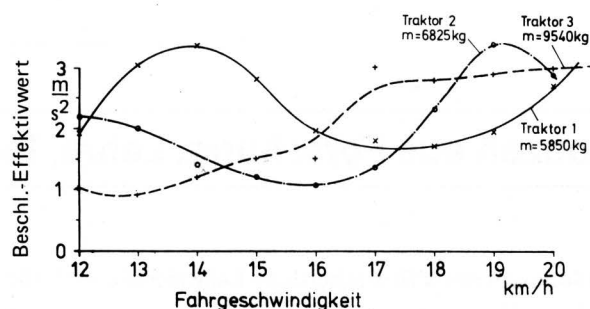
#### 4.3 Vergleichsmessungen auf dem Smooth-Track

In **Bild 15** ist für einen Schlepper exemplarisch der Verlauf der spektralen Leistungsdichte für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten aufgetragen. Die Spektren sind in Form und Halbwertsbreite vergleichbar mit den aus den Feldversuchen gewonnenen. Dies weist auf eine ähnliche Amplitudenverteilung im Spektrum der Fahrbahnunebenheiten der verwendeten landwirtschaftlichen Fahrbahnen und der Vergleichsfahrbahn hin.

Auffallend ist die Abhängigkeit der Höhe des Maximums von der Fahrgeschwindigkeit. Eine analoge Tendenz ergibt sich zwangsläufig für den Verlauf des Beschleunigungseffektivwertes über der Fahrgeschwindigkeit, **Bild 16**. In dieser Darstellung wird die Lage der relativen Minima unter anderem durch den Achsabstand des jeweiligen Schleppers bestimmt. Ursache für diese Abhängigkeiten sind die in der Vergleichsfahrbahn vorhandenen Periodizitäten [14]. Ihr Vorhandensein kann bei Smooth-Track-Messungen mit verschiedenen Schleppern im Sinne einer Sitzprüfung unter bestimmten Bedingungen zu erheblichen Schwierigkeiten führen.



**Bild 15.** Unbewertete spektrale Leistungsdichte (PSD) der Hubbeschleunigung für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten bei Leerfahrten auf dem Smooth Track; Masse des Schleppers: 6825 kg.



**Bild 16.** Unbewerteter Beschleunigungseffektivwert in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit für Schlepper verschiedener Masse bei Leerfahrten auf dem Smooth Track.

#### 4.4 Ableitung eines Anregungssignals für die Sitzprüfung

Die anhand der Schwingungsuntersuchungen an Schleppern mit einer Leermasse von mehr als 5 t gewonnenen Ergebnisse rechtfertigen die Definition einer weiteren Schwingungsklasse analog zu den bestehenden Klassen I und II. Unter Berücksichtigung der schwingungstechnischen Randbedingungen für die Auslegung einer wirksamen Sitzfederung läßt sich aus den Versuchsergebnissen ein für die betrachtete Gewichtsklasse allgemeingültiges, zur Sitzprüfung verwendbares Anregungssignal ableiten. Die Notwendigkeit gefederter Fahrersitze für Schlepper der Gewichtsklasse über 5 t zeigt die Auswertung der am Sitzbefestigungsflansch ermittelten Hubbeschleunigungen.

### 5. Zusammenfassung

Mit Hilfe umfangreicher Feldversuche wurde das Schwingungsverhalten von Ackerschleppern mit einer Leermasse von mehr als 5 t im landwirtschaftlichen Einsatz untersucht. Die ermittelten Ergebnisse erlauben eine Einordnung der Schlepper dieser Gewichtsklasse in eine gemeinsame Klasse mit vergleichbarem Schwingungsverhalten. Anhand der Meßwerte läßt sich ein für die Auslegung und Prüfung gefederter Fahrersitze verwendbares, allgemeingültiges Anregungssignal ableiten.

## Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] *Göhlich, H., F. Schütz u. H. Jungerberg*: Untersuchungen zum vertikalen Schwingungsverhalten von Ackerschlepperreifen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 34 (1984) Nr. 1, S. 13/18.
- [ 2 ] *Graef, M.*: Schwingungen und Schwingungsbelastung bei der Landarbeit. *Landtechnik* Bd. 36 (1981) Nr. 11, S. 539/41.
- [ 3 ] • *Dupuis, H.*: Mechanische Schwingungen und Stöße. In: *H. Schmidtke* (Hrsg.): *Ergonomie 2*. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1974.
- [ 4 ] *Rosegger, R. u. S. Rosegger*: Arbeitsmedizinische Erkenntnisse beim Schlepperfahren. *Archiv für Landtechnik* Bd. 2 (1960) H. 1, S. 3/65.
- [ 5 ] *Dupuis, H. u. W. Christ*: Untersuchung der Möglichkeit von Gesundheitsschädigungen im Bereich der Wirbelsäule bei Schlepperfahrern. Heft A 72/2 Max-Planck-Institut für Landtechnik, Bad Kreuznach 1972.
- [ 6 ] Richtlinie des Rates vom 25. Juli 1978 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über den Fahrersitz von land- oder forstwirtschaftlichen Zugmaschinen auf Rädern (78/764/EWG). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften.
- [ 7 ] *Jungerberg, H.*: Schwingungstechnische Anforderungen an Fahrersitze. *Landtechnik* Bd. 37 (1982) Nr. 10, S. 449/50 u. 452.
- [ 8 ] *Graef, M.*: Der Einfluß einstellbarer Sitzdämpfung auf die Schwingungsbelastung von Schlepperfahrern. *Grundl. Landtechnik* Bd. 29 (1979) Nr. 2, S. 55/60.
- [ 9 ] *Claaßen, C.-D.*: Schwingungs-Belastung und -Beanspruchung von Schlepperfahrern und ihre Verminderung. *Grundl. Landtechnik* Bd. 21 (1971) Nr. 6, S. 173/76.
- [ 10 ] *Owzar, A.*: Ein Beitrag zur Untersuchung des Schwingungsverhaltens von ungefederten, luftbereiften Fahrzeugen. Diss. TU Berlin 1975.
- [ 11 ] *Graef, M.*: Schwingungsbelastung auf Schleppern und anderen fahrenden Arbeitsmaschinen. In: *Humanisierung der Arbeit in der Landwirtschaft*. *Landbauforschung Völknerode Sonderheft 52* (1980) S. 171/79.
- [ 12 ] • *Bendat, J.S. u. A.G. Piersol*: *Random-Data: Analysis and measurement procedures*. New York: Wiley-Interscience 1971.
- [ 13 ] Programmbibliothek des zentralen Rechenzentrums der TU Berlin.
- [ 14 ] Speed induced resonance effect of N.I.A.E. undulating tractor test track. Unpublished internal department. Note, N.I.A.E., Wrest Park, Silsoe, Bedford.

---

## Notizen aus Forschung, Lehre, Industrie und Wirtschaft

---

### Kolloquium der VDI-Fachgruppe Landtechnik in Berlin

Am 9. und 10. April 1984 fand in Berlin ein Kolloquium der VDI-Fachgruppe Landtechnik über das Thema "Schlepper und Gerät" statt, welches von Prof. Dr.-Ing. H. Göhlich organisatorisch betreut wurde. An dieser auf Anregung des Vorsitzenden der Fachgruppe Prof. Dr.-Ing. H.-J. Matthies zustande gekommenen Veranstaltung nahmen die Inhaber bzw. leitenden Mitarbeiter aller deutschen Schlepperfirmen sowie Vertreter aller auf dem Schleppersektor forschenden Institute teil.

Neben der jährlichen VDI-Tagung Landtechnik sollte in diesem Forum in formloser, aber konzentrierter Arbeit der Kontakt und die Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie intensiviert werden. Dieses erklärte Professor Matthies in seiner Eröffnungssprache und nannte als gemeinsame Zielsetzung die Verbesserung von Forschung und Entwicklung, aber auch die Verbesserung der Nachwuchsausbildung, die das primäre Aufgabengebiet der Hochschulinstitute darstellt. In diesem Zusammenhang zeigte er noch einmal die unterschiedlichen Möglichkeiten der Zusammenarbeit zwischen Industrie und Hochschulinstituten auf, die von Studien- und Diplomarbeiten von Studenten über Forschungsvorhaben, die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert werden, bis hin zu Forschungsaufträgen von Einzelfirmen oder Firmengemeinschaften reichen können.

Um einen Überblick über die Arbeit der einzelnen Institute im Bereich "Schlepper und Gerät" zu geben, wurden in Kurzvorträgen deren laufende bzw. geplante Forschungsvorhaben vorgestellt. Dabei wurde das Schwergewicht auf eine ausführliche Diskussion der Vorträge gelegt, um so in intensiver Zusammenarbeit eine gemeinsame Forschungsstrategie zu entwickeln. Die Themen waren in 4 Gruppen gegliedert, die sich mit dem Zusammenwirken von Schlepper und Gerät, der langfristigen Schlepperentwicklung, der Fahrdynamik bzw. dem Fahrkomfort sowie den Laufwerken, Lenkungen und Antrieben beschäftigten.

Einen Schwerpunkt der Arbeiten an verschiedenen Instituten bildet die Erforschung des Einsatzes der Elektronik, der sich durch alle Themengruppen zog. Hier ist das Ziel die Verbesserung der Information des Fahrers, bis hin zur Automatisierung gewisser Handlungsabläufe, aber auch die Optimierung des Geräteeinsatzes. Als Hintergrund ist die Senkung der Betriebsmittelkosten zu sehen, die es dem Landwirt erlauben soll, billiger zu produzieren. Neben der direkten Kostensenkung wird vom Einsatz elektronischer Informations- bzw. Automatisierungssysteme aber auch eine Verbesserung des Arbeitsergebnisses erwartet. Insbesondere bei der Ausbringung von Dünger und Pflanzenschutzmitteln ist die genaue Erfassung und Verarbeitung der jeweiligen Betriebsparameter von großer Bedeutung, um die optimalen Ausbringungsmengen einzuhalten.

Zu diesem Themenkomplex ergab sich eine intensive Diskussion, die insbesondere die Frage betraf, welchen Nutzen der Schlepperfahrer aus den Anzeigen über die verschiedensten Betriebsparameter ziehen kann. Weiterhin wurde eine zu weitreichende Automatisierung in Frage gestellt. Als wesentliche Aufgabe der Forschung auf diesem Gebiet wurde die Untersuchung der grundsätzlichen Möglichkeiten der Elektronik und vor allem die Erforschung der Sensoren angesehen. Daneben sollten die Arbeiten dazu dienen, die Grundlagen für eine rechtzeitige Festlegung von Schnittstellen zu schaffen, die eine Voraussetzung für die Austauschbarkeit unterschiedlicher Geräte darstellt.

Neben dem direkten Einsatz elektronischer Bauelemente in Schlepper und Gerät befassen sich die landtechnischen Institute mit den Möglichkeiten, Arbeitsgänge bzw. Bauteile und deren Belastungen auf Rechenanlagen simulieren zu können. Die Grundlagen dazu müssen in umfangreichen Feld- oder Prüfstandsversuchen erarbeitet werden. Hier wurde eine ganze Reihe von Forschungsvorhaben, angefangen von Schwingungsuntersuchungen bis hin zur Simulation von Hydraulikanlagen, vorgestellt.