

Mechanische Schwingungen auf Ackerschleppern und ihre Wirkung auf den Fahrer

Von Jürgen Otto Wendeborn, Braunschweig-Völkenrode

Mitteilung aus dem Institut für Betriebstechnik der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

Durch einen guten Fahrkomfort können Arbeitsleistung und -qualität, die mit Ackerschleppern zu erreichen sind, verbessert wie auch die Gesundheit der Fahrer erhalten werden. Der vielschichtige Begriff des Fahrkomforts wird eingehend erläutert. Zu einem der wichtigsten Punkte, den mechanischen Schwingungen auf Schleppern, werden die durch sie verursachten Beanspruchungen des Menschen festgestellt. Zusammenhänge zwischen aufgetretener Schwingung und den Sofortwirkungen auf den Menschen werden gesucht. Die heutigen Sitzsysteme, die mit ihrer Federung und Dämpfung die Schwingungen vom Fahrer fernhalten sollen, werden untersucht und die auftretenden Grenzen in der Schwingungsisolierung durch Sitze aufgezeigt. Abschließend werden die entscheidenden Vorteile für nahezu alle Bereiche des Fahrkomforts durch eine entsprechend gestaltete Fahrerkabine diskutiert. Nur mit solch aufwendigen Lösungen werden befriedigende Arbeitsbedingungen auf den Ackerschleppern zu erreichen sein.

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Der Begriff des „Fahrkomforts“
- 3 Parallele Messung von technischen und medizinischen Daten an Fahrzeug und Fahrer während der Schlepperfahrt
- 4 Versuchsprogramm und -durchführung
- 5 Ergebnisse der Beschleunigungsmessungen
 - 5.1 Frequenzanalyse
 - 5.2 Klassierung der Maxima
 - 5.3 Horizontalkomponenten
- 6 Ergebnisse der Pulsfrequenzmessungen
- 7 Schwingungen am harmonisch zwangserregten System Sitz—Mensch
 - 7.1 Prüfstand und Versuchsdurchführung
 - 7.2 Frequenzgänge und zulässige Erregeramplituden der Sitze
 - 7.3 Grenzen der Verlängerung des Sitzhubes
- 8 Die Fahrerkabine ermöglicht verbesserten Fahrkomfort
- 9 Zusammenfassung
- 10 Schrifttum

1 Einleitung

Herkömmliche technische Konstruktions- und Entwicklungsarbeit hat das Ziel, eine bestimmte Funktion zu mechanisieren. Die Konstruktion wird abgeschlossen, wenn die neue oder weiterentwickelte Maschine diese Funktion zufriedenstellend erfüllt und außerdem eine hinreichende Lebensdauer bei möglichst geringen Herstellungskosten zu erwarten ist. Entsprechend dem Grad der Automatisierung hat der Mensch, der Bedienungsmann, eine unterschiedliche Zahl verbleibender Betätigungen auszuführen. Konstruktive Änderungen, die dem Bedienungsmann die Arbeit erleichtern und bequem machen, werden erst erwogen und vielleicht durchgeführt, wenn ein gewisser hoher Entwicklungsstand bei den in der Praxis verbreiteten Maschinen erreicht ist. Durch diesen Werdegang der Maschinen kommen alle Neuerungen, die der Arbeiterleichte-

rung dienen, leicht in den Verruf, Luxus zu sein. Die teilweise übliche Gepflogenheit, sinnlose Modeerscheinungen mit dem Schlagwort „Komfort“ zu verkaufen, wertet darüber hinaus entsprechende Bestrebungen ab bzw. erschwert sie.

Ackerschlepper können als ausgereifte bewährte Konstruktionen angesehen werden. Schritt für Schritt sind auch Verbesserungen hinsichtlich des Komforts entstanden, die allerdings von Anfang an nicht vorgesehen waren. Bei der bestehenden Konzeption der Schlepper ist es leider schwierig, dem Fahrer ausreichenden bzw. erforderlichen Komfort zu bieten. Einrichtungen, die dem Fahrkomfort und der -sicherheit dienen, sind jedoch aus mehreren Gründen dringend erforderlich: Die Gesundheit und das Wohlbefinden des Fahrers werden in günstigem Sinne beeinflusst. Der Mann kann bei geringerer körperlicher und geistiger Beanspruchung täglich länger mit dem Schlepper arbeiten sowie er auch im Mittel seinem Beruf länger erhalten bleiben und nicht durch Krankheit vorzeitig ausscheiden wird.

Mit günstiger gestalteten Fahrerplätzen auf Schleppern ist es möglich, den Arbeitserfolg, z. B. als Flächenleistung ausgedrückt, besonders aber die Arbeitsqualität zu verbessern, da sich der Fahrer besser auf seine eigentlichen Aufgaben konzentrieren und die Handhabung von Schlepper und Gerät korrekter ausführen kann.

Um den differenzierten Anforderungen des Fahrkomforts und der -sicherheit gerecht zu werden, sollten deren Gesichtspunkte möglichst schon bei Beginn jeglicher Konstruktionsarbeit in Betracht gezogen werden. Ihre vielfältigen Anforderungen sollten von vornherein mit in die Konstruktion einfließen. Etwas überspitzt formuliert, sollte das Fahrzeug oder die Maschine um den Menschen herumgebaut werden.

2 Der Begriff des „Fahrkomforts“

Mit dem Begriff „Fahrkomfort“, der die Gesichtspunkte der Fahrsicherheit mit einschließt, wird ein sehr vielschichtiges Gebiet beschrieben. Es sind darin alle Beanspruchungen zusammengefaßt, die der Fahrer während der Fahrt und im Stand des Schleppers erdulden muß. Sie können etwa in folgenden zehn Punkten zusammengefaßt werden:

Mechanische Schwingungen

Stochastische Fahrzeugschwingungen in allen Bewegungsrichtungen, bei denen die Amplituden und Frequenzen statistisch verteilt sind, werden auf verschiedenen Wegen in den Körper des Fahrers eingeleitet (Lenkrad—Hand—Arm, Fahrersitz—Gesäß, Getriebelock—Füße—Beine). Sie werden insbesondere von der Fahrbahn, weniger vom Motor erregt und erzwungen und können durch Konstruktion der Sitzaufhängung oder der Fahrzeuge beeinflusst werden.

Geräuschpegel

Geräusche werden durch die verschiedensten Fahrzeuggruppen verursacht, insbesondere durch den Motor und mitgeführte Arbeitsmaschinen und -geräte. Bedeutung hat der Geräuschpegel in Kopfnähe des Fahrers.

Anordnung der Bedienungselemente

Die Lage der Bedienungselemente der Schlepper und der Zusatzgeräte relativ zum Fahrer muß ebenso günstig gestaltet werden, wie die Verteilung der einzelnen Bedienungsfunktionen auf die Extremitäten des Fahrers. Die Anzahl der Hebel und Pedale sollte gering gehalten werden, u. U. können mehrere Funktionen mit einem einzigen Hebel gesteuert werden.

Dr.-Ing. Jürgen Otto Wendeborn war wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Betriebstechnik (Direktor: Prof. Dr. S. Rosegger) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode und ist seit 1. Juli 1968 bei der Firma Daimler-Benz AG, Gaggenau, in der Entwicklung tätig. Die vorstehende Arbeit ist während seiner Tätigkeit im Institut für Betriebstechnik der FAL entstanden.

Bedienungskräfte

Die zur Bedienung erforderlichen Kräfte sowie ihre Richtung müssen den menschlichen Fähigkeiten angepaßt sein, ebenso die Ausbildung der Griffe und ihre Kennzeichnung.

Sitzform

Die Form und Gestaltung der Sitzschale sowie ihre Auspolsterung müssen dem Menschen angepaßt sein; Möglichkeiten zur Änderung der Sitzhaltung müssen gegeben sein, wobei trotzdem die Sichtverhältnisse auf die Arbeitsgeräte usw. zufriedenstellend bleiben.

Wartung und Pflege

Die Maschine muß einfach und leicht zu bedienen und zu warten sein (einfaches Starten, müheloses Be- und Absteigen, Zuverlässigkeit, Reparaturanfälligkeit, leichter An- und Abbau von Geräten, wartungs- und reparaturgerechte Konstruktionen).

Unfallsicherheit

Unfallsichere Gestaltung, insbesondere der Betätigungselemente, Sicherheit vor und Schutz beim Umstürzen und Überschlagen des Schleppers, Schutz auch vor irgendwie aufgewirbelten oder aufgeworfenen Fremdkörpern u. dgl.

Sichtverhältnisse

Absicherung des Schleppers im Verkehr durch eine leistungsfähige Lichtanlage; Verbesserung der Sichtverhältnisse bei der Arbeit und im Verkehr durch künstliche Lichtquellen.

Witterungseinflüsse

Verschiedene Witterungseinflüsse beanspruchen den Fahrer unnötig: hohe oder niedrige Lufttemperatur (evtl. Heizung durch Motorabwärme), Luftfeuchtigkeit und Niederschläge (Regen, Schnee, Hagel, Nebel), Staubgehalt in der Luft (auch durch die Maschine aufgewirbelt oder erzeugt), Wind, Sonneneinstrahlung, Abgase des Verbrennungsmotors.

Bremsfähigkeit

Zur sicheren Arbeit mit Fahrzeugen ist eine geeignete Bremsanlage erforderlich, mit der der Fahrer den gesamten Zug jederzeit, im Verkehr und bei der Ackerarbeit, schnell zum Stehen bekommt.

Mit dem Begriff „Fahrkomfort“ werden also vielfältige und umfangreiche Aufgaben und Probleme umschrieben. Im folgenden wird im besonderen auf die mechanischen Schwingungen mit ihren Wirkungen auf den Menschen eingegangen und gezeigt, welche Konsequenzen gewisse Maßnahmen zu ihrer Minderung auch für die anderen angeführten Punkte zu erwarten bzw. zu erhoffen sind.

3 Parallele Messung von technischen und medizinischen Daten an Fahrzeug und Fahrer während der Schlepperfahrt

Neben der Ermittlung der im Fahrbetrieb auftretenden Schwingungen hat die Ergründung ihrer Wirkungen auf den Menschen besondere Bedeutung. Zur Bestimmung der bedeutungsvollen Abhängigkeiten zwischen den Beanspruchungen und den biologischen Wirkungen bzw. Reaktionen werden technische und medizinische Meßgrößen parallel in einem Versuchsprogramm erfaßt (der medizinische Teil wird vom verkehrsmedizinischen Labor der Universität Bonn getragen [1; 7]). Die technischen Daten, in diesem Falle Schwingungsbeschleunigungen, wurden an Fahrzeug, Sitz und Fahrer gemessen, die medizinisch-biologischen Daten, nämlich Atmung, Herzstromkurve und Blutdruck wurden am Fahrer während des gleichen Versuchs zur selben Zeit gemessen. Die technischen Meßwerte sollen neben der Klärung der Schwingungsverhältnisse an Fahrzeug und Fahrer dem Mediziner als Grundlage und Maßstab für die Wirkungen auf den Fahrer dienen.

Zur Erforschung der Wirkung stochastischer Schwingungen auf den Menschen, wie sie bei der Schlepperfahrt vorliegen, bieten sich zwei grundsätzliche Verfahren an. Bei der ersten Methode wird eine Versuchsperson auf einem Schwingtisch regellosen Schwingungen ausgesetzt. Diese werden z. B. von einem öldruckhydraulischen Kolben aufgebracht, der seinerseits von einem

Meßmagnetband gesteuert ist. Die Signale des Bandgerätes können zufällig sein, besser sind sie jedoch den Schwingungen beim wirklichen Fahrzeug angepaßt und beispielsweise bei einer Versuchsfahrt aufgenommen worden. Dieses Verfahren hat mehrere Nachteile: es erfordert einen relativ hohen apparativen Aufwand und die Versuche können den wirklichen Umweltbedingungen nicht angepaßt werden; außerdem sind die Ergebnisse zur Zeit noch durch zufällige Störungen in den Geräten nur bedingt reproduzierbar. Bei der zweiten Methode, auf die hier zurückgegriffen wird, werden die gewünschten Daten an Mensch und Maschine während einer wirklichen Fahrt gemessen, so daß die Beanspruchungen mit Sicherheit der Wirklichkeit entsprechen. Gleichzeitig können über die Schwingungen selbst Aussagen gemacht werden. Die Reproduzierbarkeit auf theoretischer und praktischer Basis ist nicht schlechter als bei der ersten Methode.

Die Gesamtheit der Einflüsse auf die Schwingungen kann in einigen komplexen Gruppen zusammengefaßt werden [5; 8]. Ursache sind die Fahrbahnebenenheiten, die durch ihre spektrale Dichte charakterisiert und beschrieben werden. Schwingungserregungen durch den Motor können in diesem Rahmen vernachlässigt werden, da sie den Menschen nicht erreichen, sondern vorher herausgefiltert werden.

Gekoppelt mit der jeweiligen Fahrgeschwindigkeit ergibt sich das Spektrum der Anregungen für das Fahrzeug. Dieses vergrößert oder verkleinert die Amplituden der Schwingungen frequenzgetreu, jedoch je nach Frequenz mit unterschiedlich großer Amplitude, entsprechend der fahrzeugspezifischen Vergrößerungsfunktion [8]. Der theoretische spektrale Verlauf der Schwingungen am Fahrzeug oder auch am Fahrer kann daraus ebenso wie eine mittlere Beschleunigung abgeleitet werden. Derartige Betrachtungen können für alle drei Richtungen des Raumes angestellt werden, wobei sich die vorliegende Untersuchung jedoch auf die Vertikalschwingungen beschränkt, denen die größte Bedeutung zukommt.

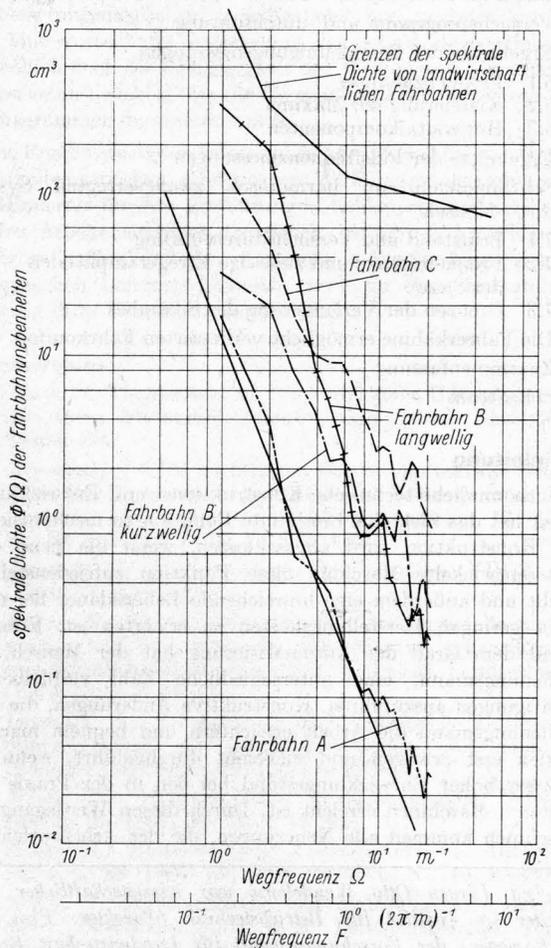


Bild 1. Die spektrale Dichte der Unebenheiten der drei Versuchsbahnen im Gesamtbild der landwirtschaftlichen Wege.

A Feldweg mit guter Schwarzerde ($v_F = 18,2 \text{ km/h}$)

B guter Feldweg mit Bauschutt und Feldsteinen befestigt ($v_F = 10,5 \text{ km/h}$)

C Acker nach der Sommerfurche gegrubbert ($v_F = 10,5 \text{ km/h}$)

4 Versuchsprogramm und -durchführung

Zur Berücksichtigung des Einflusses der Fahrbahnen wurden drei verschiedene Versuchsstrecken ausgewählt, deren spektrale Dichten **Bild 1** zeigt. Diese ausgewählten Profile fügen sich gut in den Gesamtbereich der landwirtschaftlichen Fahrbahnen ein. Während Strecke A auf der unteren Grenze der Gutseite liegt, kommt der Acker C besonders bei höheren Frequenzen schon stark in den Bereich schlechter Fahrbahnen.

Aus der obigen Überlegung folgt [8], daß der Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Schwingungen relativ übersichtlich ist. Auf jeder Fahrbahn wurde daher mit bestimmter, vorgegebener Geschwindigkeit gefahren. Sie wurde so ausgewählt, daß sie in einfacher Weise genügend genau reproduzierbar war (Vollgas bei warm gelaufener Maschine in bestimmtem Gang) und daß sie subjektiv ertragbare Schwingungen für den Fahrer ergab (Fahrbahn B und C) bzw. das Führen und Lenken des Fahrzeuges keine wesentliche Beanspruchung für den Fahrer bedeutete (Fahrbahn A). Im einzelnen wurde auf Strecke A mit $v_F = 18,2$ km/h und auf den Strecken B und C mit $v_F = 10,5$ km/h gefahren. Diese sind Werte, die in der Praxis gebräuchlich und gewissen landwirtschaftlichen Arbeiten angemessen sind.

In der Wahl der Fahrzeuge und Sitze, also in der Art der Vergrößerungsfaktoren, ergeben sich sehr viele Variationsmöglichkeiten. Sie wurden dadurch eingeschränkt, daß alle Versuche mit dem gleichen Schlepper angestellt wurden, **Bild 2**, einer 32-PS-Maschine mit 3-Zylinder-Dieselmotor und 1500 kg Gesamtmasse. Bei anderen Schleppern ergeben sich in den Schwingungen zwar graduelle Unterschiede, jedoch bleiben Größenordnung und Charakteristik erhalten.



Bild 2. Der Versuchsschlepper mit Geräten und Fahrer.

Durch Versuchsfahrten mit verschiedenen Fahrersitzen ergeben sich sehr viel größere Veränderungen in den Schwingungseinwirkungen auf den Fahrer. Daher wurden auf allen Versuchsbahnen neben dem serienmäßigen ungefederten Sitz vier gefederte, gedämpfte und einstellbare Sitzträger eingesetzt, die entsprechend dem heutigen Stand der Technik als optimal angesehen werden müssen.

Eine weitere Variation besteht in der Person des Versuchsfahrers. Hier dürften sich aus medizinischer Sicht mehr Unterschiede und größere Streubereiche ergeben als aus technischer. Die technischen Messungen wurden daher nur an drei Versuchspersonen durchgeführt, während zu den medizinischen Messungen weitere 13 Personen herangezogen wurden.

Zur Verfolgung der Schwingungen wurden Beschleunigungs-Meßstellen an der Hinterachse, an der abgefederten Sitzmuschel und an Rücken und Kopf des Fahrers, **Bild 2**, vorgesehen. Als charakteristische Größe wird auf die Schwingbeschleunigungen zurückgegriffen; hier sind die Absolutwerte am leichtesten zu messen, rechnerisch können andere Größen (Weg, Geschwindigkeit, Ruck) unter Einbeziehung der Frequenz daraus ermittelt werden.

Der mögliche Meßumfang ist durch das registrierende Magnetbandgerät auf jeweils vier Spuren begrenzt (das Meßgerät hat

sieben Spuren, wovon eine als Sprechspur und zwei für medizinische Messungen reserviert bleiben müssen). So ist eine Beschränkung auf die wesentlichen Komponenten nötig. Teilweise werden diese bei verschiedenen Versuchspersonen gewechselt. Bei den Fahrern 1 und 2 wurde am Kopf horizontal in Fahrtrichtung und am Rücken senkrecht gemessen, von der dritten Versuchsperson liegt am Rücken ebenfalls die senkrechte Komponente vor, am Kopf wurde dagegen horizontal quer zur Fahrtrichtung gemessen. Die beiden Kanäle an Fahrzeug und Sitz geben die senkrechten Komponenten wieder.

Einen Ausschnitt aus dem Ergebnis eines beliebigen Versuches zeigt **Bild 3**. Über der Zeit sind hier übereinander die vier gemessenen Beschleunigungen aufgetragen. Darüber und darunter sind die Kurven des Herzstromes und der Atmung zu erkennen. Das typische dieser medizinischen Messungen ist hier nur schwer zu erkennen, da der Zeitmaßstab nicht darauf zugeschnitten ist. Für den Herzstrom müßte gestreckt, bei der Atmung gerafft werden.

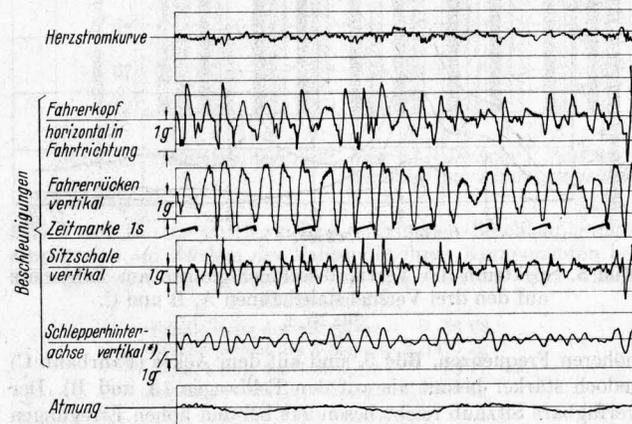


Bild 3. Verlauf der Beschleunigungen, der Herzstromkurve und der Atmung (Versuchsausschnitt).

Fahrbahn C (Acker); Versuchsperson Nr. 2; Sitz Nr. 3

*) Frequenzen über 16 Hz sind herausgefiltert

Die regellosen Kurven der Beschleunigung müssen jetzt durch möglichst einfache Kenngrößen charakterisiert werden. Die wirklich geeignete Methode der Darstellung kann allerdings erst nach Erforschung der Beanspruchungskriterien seitens der Mediziner angegeben werden.

5 Ergebnisse der Beschleunigungsmessungen

Die bisherigen Erfahrungen sagen, daß neben der vorherrschenden Frequenz, die im wesentlichen durch das Fahrzeug bestimmt ist, die Größen der Amplituden für die Schwingbeanspruchungen des Menschen maßgebend sind. Für einige Versuche wird daher eine Frequenzanalyse durchgeführt, die die einzelnen Anteile erkennen läßt. Für die Größe der Amplituden muß ein Mittelwert errechnet werden, da ein einzelner Wert zu sehr vom Zufall beeinflusst ist.

5.1 Frequenzanalyse

Die Frequenzanalyse, **Bild 4**, zeigt für die Ergebnisse an der Hinterachse bei allen ausgewerteten Versuchen die gleiche Hauptfrequenz, die die Werte der anderen mehr oder minder weit überragt. Diese Frequenz, die ihre Ursache in der Eigenfrequenz des Schleppers hat, liegt bei etwa 3,4 bis 3,7 Hz.

Sinn der Sitze ist es, diese Spitzen durch ihre niedrigere Resonanzfrequenz abzubauen. Dies ist technisch schwierig erreichbar und bei den Versuchssitzen auch nur teilweise gelungen. So zeigt sich zwar ein Abbau des Maximums am Sitz, der jedoch nicht genügt, um eine hohe Beschleunigungsspitze am Rücken zu unterbinden. Am Kopf zeigt sich dann ein grundsätzlich anderer Verlauf (hier wurde die Horizontalkomponente gemessen), obwohl eine vertikale Erregung sich am Kopf zum Teil in horizontale Schwingungen umsetzt. Offensichtlich spricht der Kopf auf Frequenzen um 3 bis 4 Hz nicht stark an.

Die verschiedenen Fahrbahnen machen sich nicht in einer Verschiebung der Frequenzen bemerkbar. Die Amplituden der

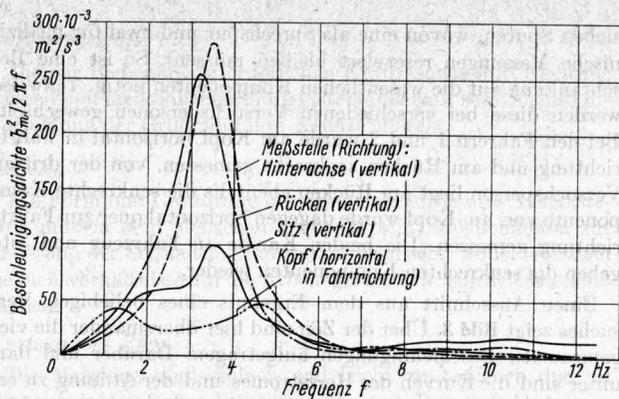


Bild 4. Spektrum der Beschleunigungen am Schlepper und Fahrer auf Fahrbahn B (mittelguter Feldweg).
Sitz Nr. 2

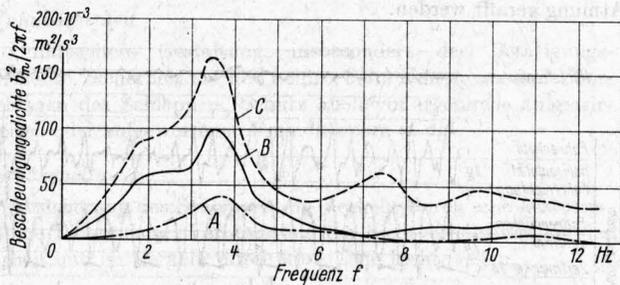


Bild 5. Spektrum der Vertikalbeschleunigungen am Fahrersitz auf den drei Versuchsfahrbahnen A, B und C.
Sitz Nr. 2

höheren Frequenzen, **Bild 5**, sind auf dem Acker (Fahrbahn C) jedoch stärker betont als auf den Feldwegen (A und B). Der verfügbare Sitzhub reicht besonders bei den hohen Erregungen auf dem Acker nicht aus, um die erforderlichen Schwingungen auszuführen, der Sitz schlägt an seine Begrenzungen. Bei Frequenzen oberhalb 6 Hz ergeben sich hohe Amplituden, wenn sie auch zahlenmäßig gering sind. Der verfügbare Sitzhub muß also so groß ausgeführt werden, daß die Begrenzungen möglichst nicht erreicht werden, um diese hohen Spitzen zu vermeiden.

5.2 Klassierung der Maxima

Aus dieser Darstellung der Versuchsergebnisse kann nicht einfach auf die absoluten Werte der Beschleunigung geschlossen werden, da das Spektrum der Bilder 4 und 5 kontinuierlich ist, in praxi außerdem die Amplituden aller Frequenzen einander überlagert sind. Darum werden mit direktem Bezug auf die einzelnen Versuche die Ergebnisse der Klassierung der Beschleunigungsmaxima angegeben. Bei einer Klassierung der positiven und negativen Beschleunigungsspitzen ergibt sich je ein Mischkollektiv, wobei die Anteile der Teilkollektive je nach Fahrbahn mehr oder minder groß sind, **Bild 6**.

Für die drei Versuchsstrecken sind Häufigkeitsverteilungen angedeutet, wie sie im Prinzip für alle Sitze zu finden sind. Das größere Teilkollektiv bei jeweils geringen Werten der Beschleunigung wird von den Amplituden im normalen Schwingbereich der Sitze gebildet (oder wenn die Schlepperräder nicht von der Fahrbahn abheben). Das kleinere Teilkollektiv ist auf Durchschlagen des Sitzes zurückzuführen, das erfolgt, wenn die Anregungsamplitude so groß wird, daß der konstruktiv vorgesehene Hub des Sitzträgers nicht ausreicht (oder bei der Hinterachsbeschleunigung die Räder wieder auf die Fahrbahn prallen).

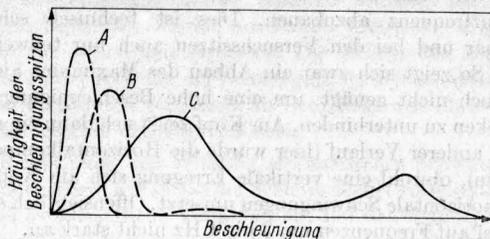


Bild 6. Das Mischkollektiv der Vertikalbeschleunigungen am Sitz und Fahrer (bezogen auf je eine Versuchsfahrt).

Das hochgelegene Teilkollektiv ist bei schlechter Fahrbahn größer als bei guter, erst dann macht sich der begrenzte Sitzhub bemerkbar. Sofern der Hub konstruktiv auch nach oben begrenzt ist, ergibt sich für die negative Schwingungshälfte das entsprechende Mischkollektiv, sonst ist der hohe Anteil geringer.

Das Durchschlagen des Sitzes kommt auf der Fahrbahn C sehr häufig vor, während auf den Fahrbahnen A und B die Hubbegrenzung nur selten bzw. gar nicht erreicht wird. In der Zusammensetzung des Kollektivs der Beschleunigungsspitzen unterscheiden sich die Fahrbahnen A und B also nicht wesentlich; wohl aber ist der Zentralwert der Strecke B größer als der von A.

Bild 7 zeigt den quadratischen Mittelwert der Beschleunigungsmaxima an Hinterachse, Sitz und Rücken für die verschiedenen Versuchsreihen. Eindeutig, wie schon bei der Frequenzanalyse, ist die steigende Tendenz von Fahrbahn A über B nach C. Unter den verschiedenen Versuchspersonen streuen die Ergebnisse relativ stark. Das ist bedingt durch den unterschiedlichen Körperbau usw. der Personen und durch Zufälligkeiten der Versuchsfahrt, es wird nicht exakt die gleiche Spur gefahren und nicht immer der gleiche Bereich ausgewertet. Extrem hohe Beanspruchungen ergeben sich bei der Fahrt auf dem Acker mit dem ungefederten Sitz ohne das serienmäßige etwa 10 cm dicke Sitzkissen aus Schaumgummi (ganz rechts in **Bild 7**). Als einziges federndes Element verbleibt demnach das Fettgewebe am Gesäß. Im Mittel wurden in diesem Fall am Rücken einer hageren Versuchsperson 7,2 g, einer etwas beleibteren 4,0 g gemessen. Die absoluten Größtwerte waren 14 g bzw. 7 g.

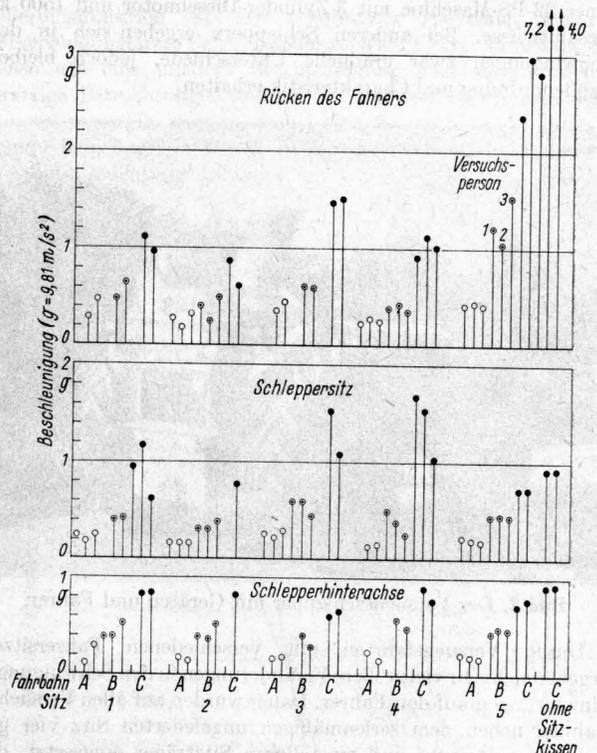


Bild 7. Der maximale Mittelwert der Beschleunigungsmaxima (vertikal) am Schlepper (Hinterachse, Sitz) und Fahrer (Rücken) auf den verschiedenen Sitzen (1 bis 5) und Fahrbahnen (A, B, C) mit drei Versuchspersonen.

Diese hohen Beanspruchungen sind zwar möglich, z. B. für Beifahrer, dürfen aber nicht mehr zu Vergleichen für gute Sitze herangezogen werden. Es wird wohl keinen Schlepperräder geben, der sich nicht mindestens durch ein dickes Kissen schützt. Als Bezug für die Vorteile der gefederten modernen Sitze kann der ungefederte Sitz 5 mit Kissen herangezogen werden.

Zum besseren Vergleich der verschiedenen Sitze werden die Ergebnisse auf die Werte für die Hinterachse bezogen, hier ist ein Einfluß durch die Versuchsperson auszuschließen, die Streuung ist geringer gegenüber den anderen Spuren und auf die Unterschiede in der Fahrbahn zurückzuführen. Im Mittel ergeben sich an der Hinterachse Beschleunigungen von:

$$b_m = \pm 0,19 \text{ g für Fahrbahn A}$$

$$b_m = \pm 0,43 \text{ g für Fahrbahn B}$$

$$b_m = \pm 0,76 \text{ g für Fahrbahn C.}$$

Um Zufälligkeiten einer einzelnen Versuchsfahrt auszuschließen, werden in **Bild 8** Mittelwerte für die drei Versuchspersonen und Fahrbahnen angegeben.

Die bezogene Vertikalbeschleunigung am Sitz 5 und 5 (ohne Sitzkissen) ist nach Definition gleich 1, da die Verbindung Schlepper — Sitz starr ist. Bei günstig ausgelegten Federungen und Dämpfungen müßten sich für die übrigen Sitze entsprechende wesentlich kleinere Werte ergeben. Tatsächlich ist das Ergebnis etwas anders. Für die einzelnen Sitze ergibt sich:

	$b_{\text{Sitz}}/b_{\text{Hinterachse}}$
Sitz 1	1,10
Sitz 2	0,91
Sitz 3	1,67
Sitz 4	0,97

Als Resümee dieser Fahrversuche muß leider gesagt werden, daß, bezogen auf die vertikalen Schwingungen, durch die modernen Schleppersitze keine nennenswerte Verbesserung des Schwingkomforts erzielt werden konnte.

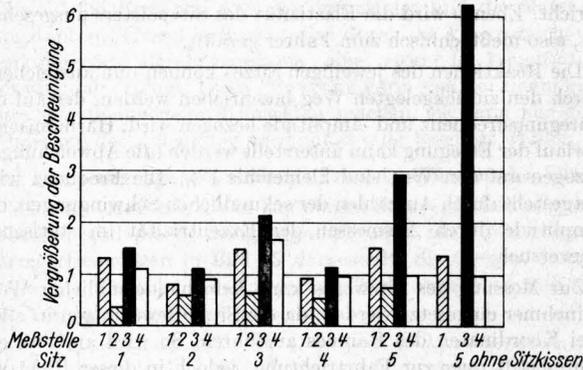


Bild 8. Die Beschleunigungen bezogen auf die Werte an der Hinterachse (Mittelwerte für die Versuchspersonen 1 bis 3 und die Fahrbahnen A, B, C).

Meßstelle 1: horizontale Beschleunigungen am Kopf in Fahrtrichtung
 Meßstelle 2: horizontale Beschleunigungen am Kopf quer zur Fahrtrichtung
 Meßstelle 3: vertikale Beschleunigungen am Rücken
 Meßstelle 4: vertikale Beschleunigungen am Sitz

5.3 Horizontalkomponenten

Da bei der Versuchsdurchführung nur die begrenzte Zahl von insgesamt vier Meßkanälen für technische Signale zur Verfügung stand, konnten die horizontalen Komponenten nicht ausreichend gemessen werden. Daher seien in diesem Zusammenhang die Arbeiten von *Matthews* [4] zitiert, der hierauf sehr ausführlich eingeht.

Die Versuche wurden auf fünf verschiedenen landwirtschaftlichen Fahrbahnen mit zwei Schleppern von rund 1,5 t bzw. 2,7 t Gesamtgewicht durchgeführt. Die Schlepper waren mit ungefederten jedoch gepolsterten Sitzschalen ausgerüstet. Die Messungen der Beschleunigungen ergeben grundsätzlich geringere Werte, **Bild 9**, als die oben besprochenen. Die Ursache ist in der geringeren Fahrgeschwindigkeit bei *Matthews* und vielleicht einem besseren Sitzkissen zu suchen.

Auf den ersten drei Fahrbahnen, dem Feldweg und den Weiden sind die horizontalen Schwingungen wesentlich geringer als die vertikalen. Als Mittelwert kann für die Beschleunigung am Fahrerrücken in Fahrtrichtung 45% und quer zur Fahrtrichtung 30% angenommen werden. An der Hinterachse liegen diese Werte höher, bei 50% bzw. 80%. Der Körper des Fahrers und das Sitzkissen gleichen besonders die Querbewegungen gut aus.

Bei Fahrt über den Sturzacker werden die Horizontalkomponenten relativ zu der Vertikalkomponente größer. Am Rücken werden in beiden Richtungen 90%, an der Hinterachse sogar 110% gemessen. Also ist auch hier eine ausgleichende Wirkung des Sitzes und des Fahrers festzustellen.

Absolut gesehen sind die mittleren Komponenten auf dem Sturzacker geringer als auf Feldweg und Weide. Das **Bild 10** zeigt jedoch, daß einzelne Spitzen durchaus in die Größenordnung der ersten Fahrbahnen hineinragen. Auf den Äckern ist lediglich die Streuung größer. Es ergibt sich ein breiteres,

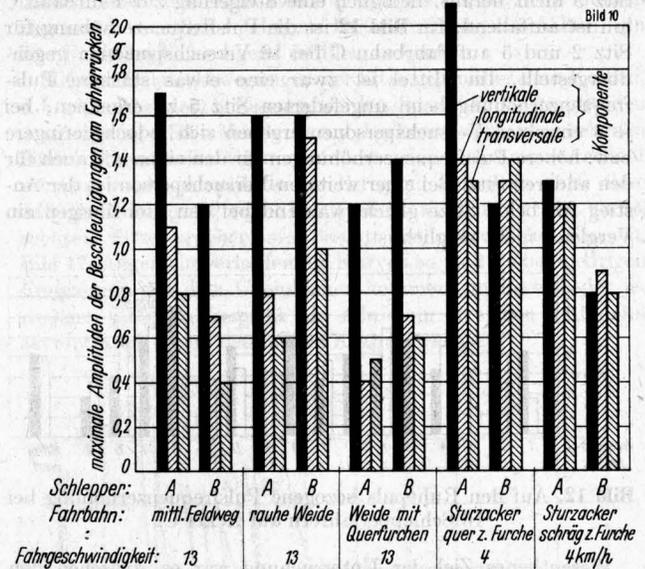
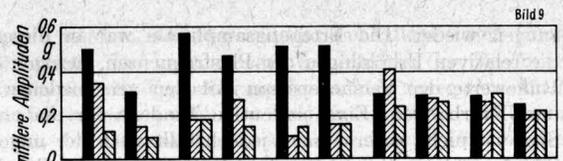


Bild 9 und 10. Die mittleren bzw. maximalen Beschleunigungsamplituden am Rücken des Fahrers in ihren Komponenten bei Schlepperfahrt mit ungefedertem gepolstertem Sitz (nach *Matthews* [4]).

Nennleistung des Schleppers A 36 PS
 Gesamtgewicht des Schleppers A 1470 kg
 Nennleistung des Schleppers B 53 PS
 Gesamtgewicht des Schleppers B 2690 kg

flacheres Beschleunigungskollektiv. Anhand der vorliegenden Ergebnisse kann darüber jedoch nicht mehr ausgesagt werden.

Als Folgerung ergibt sich, daß es nicht nur von Bedeutung ist, den Schlepperfahrer vor Einwirkung vertikaler Schwingungen zu isolieren. Ebenso sollte mit Sorgfalt überlegt werden, wie er gegen horizontale Beanspruchungen geschützt werden kann. Wenn dementsprechend dem Sitz in der horizontalen Ebene Bewegungsfreiheit gegeben und er abgedefert wird, besteht bei der heutigen Konzeption unserer Ackerschlepper die Gefahr, daß der Fahrer den erforderlichen Kontakt zu den Bedienungselementen verliert.

Eine Beziehung der gemessenen Werte zur bekannten VDI-Richtlinie 2057 sei nicht abgeleitet. Diese Richtlinie ist für die Einwirkung von Schwingungen konstanter Amplitude und Frequenz aufgestellt. Bei den hier vorliegenden stochastischen Schwingungen wird jedoch ein ganz anderer Maßstab anzulegen sein. Der Mensch ist gegen stochastische Schwingungen wesentlich unempfindlicher. Da das Gebiet jedoch sehr komplex ist, ist es bisher noch in keiner Weise gelungen, eine Beanspruchungsskala aufzustellen. Der Vergleich mit einer solchen Richtlinie würde über eine Wissenslücke hinwegtäuschen. Die Beanspruchungen müssen in jedem Fall auf das technisch mögliche Minimum herabgedrückt werden.

6 Ergebnisse der Pulsfrequenzmessungen

Zur Beurteilung der Wirkung der Schwingungen auf den Menschen können die Ergebnisse der Pulsfrequenzmessungen bei den obigen Versuchsreihen angeführt werden. **Bild 11** zeigt

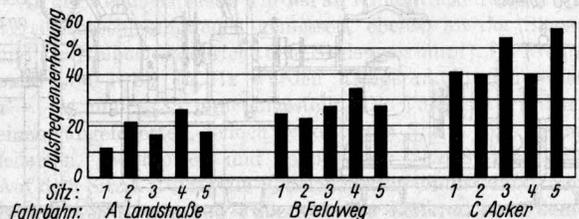


Bild 11. Auf den Ruhepuls bezogene Pulsfrequenzerhöhung des Schlepperfahrers 2 auf verschiedenen Fahrbahnen und Sitzen.

sungen wieder. Die Erregungsamplitude war in diesem Fall die relativen Erhöhungen der Plusfrequenzen, bezogen auf die Ruhewerte der Versuchsperson mit den verschiedenen Sitzen und Fahrbahnen. Eine eindeutige Tendenz für die einzelnen Sitze ist nicht zu erkennen, jedoch fällt auch der ungefederte Sitz 5 nicht heraus. Lediglich eine Steigerung zur Fahrbahn C hin ist auffallend. Im **Bild 12** ist die Pulsfrequenzerhöhung für Sitz 2 und 5 auf Fahrbahn C bei 16 Versuchspersonen gegenübergestellt. Im Mittel ist zwar eine etwas stärkere Pulsfrequenzerhöhung beim ungefederten Sitz 5 zu erkennen; bei je 6 einzelnen Versuchspersonen ergeben sich jedoch geringere bzw. höhere Pulsfrequenzerhöhungen für den einen wie auch für den anderen Sitz. Bei einer weiteren Versuchsperson ist der Anstieg für beide Sitze gleich, während bei den drei übrigen ein Vergleich nicht möglich ist.

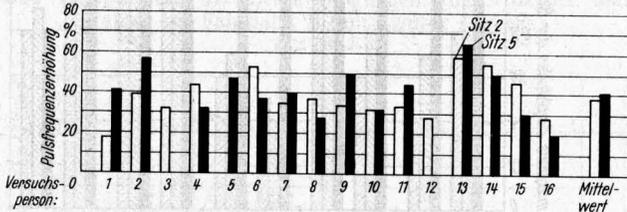


Bild 12. Auf den Ruhepuls bezogene Pulsfrequenzerhöhung bei 16 Schlepperfahrern auf Acker C.

Wesentliches Ziel der Untersuchung war es, zwischen den technischen Meßgrößen (Beschleunigung) und den medizinischen (Pulsfrequenz, Atem, Blutdruck) Relationen aufzustellen. Es zeigt sich jedoch beim Vergleich dieser beiden Gruppen, daß keine derartigen Zusammenhänge zu finden sind. Die gewählten medizinischen Meßgrößen werden offensichtlich so stark von anderweitigen Einflüssen überlagert, die nicht erfaßt wurden, daß keine Abhängigkeit erkennbar ist. Die mechanischen Schwingungen wirken nicht direkt auf das Herz und den Kreislauf, sondern über die Brücke vermehrter statischer Haltearbeit. Die eingesetzten medizinischen Meßgrößen sollten durch Verfahren zur Feststellung der Stoffwechselsteigerung (O_2 -Verbrauch, CO_2 -Abgabe, also Leistungsumsatz) ergänzt werden.

Generell kann gesagt werden, daß die festgestellten Erhöhungen der Pulsfrequenz und die Beeinflussung der Atmung sowie der Herzströme bei längerer Einwirkung so hoch sind, daß Physiologen und Mediziner ernstere Gefahren für die Gesundheit befürchten.

In Reihenuntersuchungen an Schlepperfahrern und Vergleichspersonen [6] konnte dieses Ergebnis leider bestätigt werden. Bei den Schlepperfahrern wurde ein wesentlich schlechterer Gesundheitszustand festgestellt. Bei einer Wiederholung dieser Versuchsanstellung [2] bezogen auf westdeutsche Verhältnisse wird das gleiche Ergebnis erzielt. Bei den untersuchten Schlepperfahrern wurden 68,7% mit ungünstigem Befund der Wirbelsäule gefunden, außerdem 48,1% mit Wirbelsäulenbeschwerden und 21,9% mit Magenbeschwerden.

Übersetzungen:

Getriebe I 1:0,57 → 1:1,08

Getriebe II 1:0,25; 1:0,25; 1:0,55; 1:1

Getriebe III 1:0,2 ; 1:0,25 ; 1:0,45 ; 1:0,68 ; 1:1

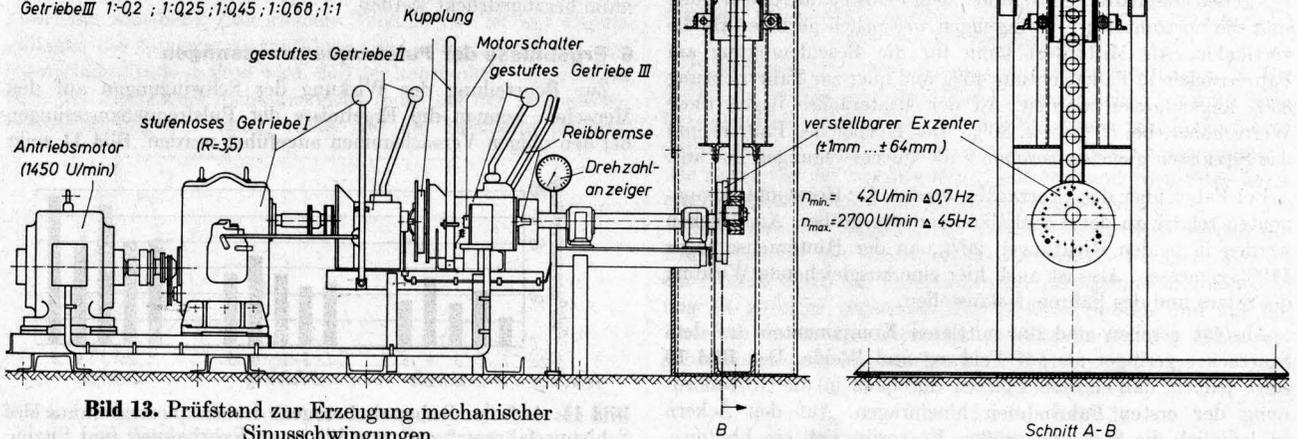


Bild 13. Prüfstand zur Erzeugung mechanischer Sinusschwingungen.

7 Schwingungen am harmonisch zwangserregten System Sitz—Mensch

7.1 Prüfstand und Versuchsdurchführung

Um Schleppersitze mit ihren Eigenschaften im Labor untersuchen zu können, wurde ein Prüfstand erstellt, mit dem einem Sitz, entsprechend der Schlepperfahrt, vertikale Schwingungen aufgezungen werden können, **Bild 13**. Bei einem Fahrversuch tritt ein Frequenzgemisch, ein ganzes Spektrum auf. Im Laborversuch auf diesem Prüfstand werden dagegen einzelne diskrete Frequenzen erzeugt, die Verknüpfung zur gemischten Erregung analog den praktischen Verhältnissen erfolgt dann über die Theorie [5; 8].

Auf den vertikal arbeitenden Kolben wird der zu untersuchende Sitz montiert, so daß ihm die harmonischen Schwingungen aufgezwungen und die Reaktionen beobachtet werden können. Da in diesem Zusammenhang ausschließlich die technische Konstruktion untersucht werden soll, wird der Schlepperfahrer durch eine Stahlplatte von 50 kg Masse ersetzt, die einem Fahrergewicht auf herkömmlichen Schleppern von 75 kg entspricht. Ebenso wird die Elastizität des Sitzpolsters ausgeschaltet, also meßtechnisch zum Fahrer gezählt.

Die Reaktionen des jeweiligen Sitzes können nun ausreichend durch den zurückgelegten Weg beschrieben werden, der auf die Anregungsfrequenz und -amplitude bezogen wird. Harmonischer Verlauf der Erregung kann unterstellt werden (die Abweichungen bezogen auf den Weg sind kleiner als 1%). Die Frequenz wird festgestellt durch Auszählen der sekundlichen Schwingungen, die Amplitude durch Ausmessen der Exzentrizität im statischen Vorversuch.

Zur Messung des Sitzweges kann kein handelsüblicher Weg-aufnehmer eingesetzt werden, da die Sitze Bewegungen in allen drei Koordinaten des Raumes ausführen. So wird am Sitz ein Schreibstift quer zur Fahrtrichtung, jedoch in dieser Richtung verschieblich angebracht. Dieser Stift schreibt gegen ein Papier auf einer ortsfesten Konsole. Sitzbewegungen quer zur Fahrtrichtung werden demnach nicht gemessen, sondern lediglich Vertikal- und Longitudinalbewegungen. Die Konsole mit dem Registrierpapier wird mit dem Prüfstand oder dem Kolben verbunden; dementsprechend wird die Absolut- oder die Relativbewegung des Sitzes aufgezeichnet.

Als Beispiel zeigt **Bild 14** die Nachzeichnungen einiger solcher Kurven über der Anregungsfrequenz für einen beliebigen Sitz. Die Hüllkurven geben die Gesamttendenz der einzelnen Mes-

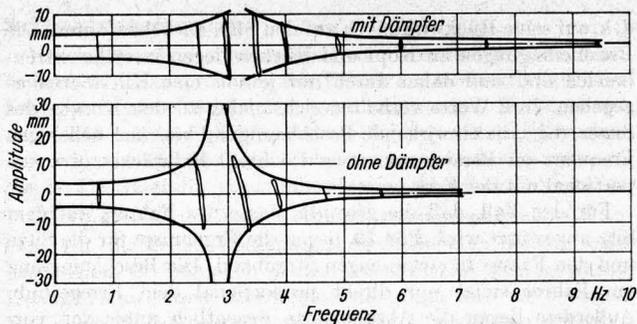


Bild 14. Bewegungsablauf eines Sitzes bei aufgezwungenen Schwingungen.

8,1 mm. Bei sehr langsamer Erregung geht der Sitz genau mit ihr, vergrößert seine Amplitude im Resonanzbereich, um bei großen Frequenzen gegenüber dem absoluten Bezugssystem nahezu in Ruhe zu bleiben. Bei allen höheren Frequenzen ist jedoch eine nennenswerte Horizontalbewegung zu erkennen. Obwohl die Erregung rein vertikal erfolgt und die Masse auf konstantem Niveau verharrt, wird durch die kinematische Anlenkung des Parallelogramms eine störende Longitudinalschwingung erzeugt. Diese Bewegung kann sich bei einem guten Sitz sehr unangenehm bemerkbar machen, sie kann nur durch Änderung der Anlenkung vermindert oder beseitigt werden.

7.2 Frequenzgänge und zulässige Erregeramplituden der Sitze

Für die vier Sitze, die in den obigen Fahrversuchen eingesetzt wurden, sind die Schwingungsamplituden als Funktionen der Erregerfrequenzen in **Bild 15** dargestellt. Sie werden üblicherweise als Vielfache der Erregeramplitude angegeben und dann als Vergrößerungsfaktor bezeichnet.

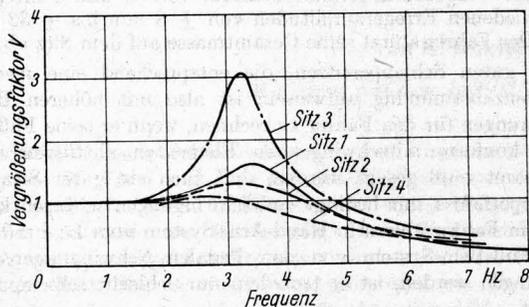


Bild 15. Die Vergrößerungsfaktoren für verschiedene Sitze (ermittelt mit Erregerschwingweite von 8,1 mm und starrer Ersatzmasse von 50 kg).

Die stärkste Vergrößerung wird bei diesen Sitzen im Bereich von $f = 3$ bis 3,5 Hz erreicht. Die Resonanzfrequenz der Schlepper, bei der also die Anregungsamplituden von der Fahrbahn sowieso schon stark vergrößert werden, liegt bei den handelsüblichen Schleppern um 3,5 bis 4,0 Hz. In diesem Bereich werden die Schwingungen also doppelt vergrößert, anstatt ver-

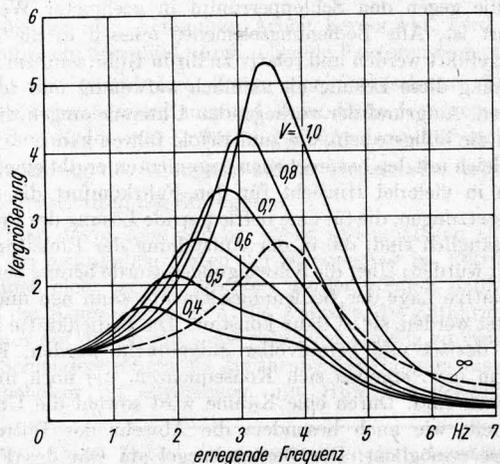


Bild 16. Resultierende Vergrößerungsfunktionen der Sitzfederung bei verschiedenem Resonanzfrequenzverhältnis (Zweimassensystem nach Haack [3]).

kleinert zu werden. **Bild 16** veranschaulicht dieses noch einmal nachdrücklich. Für verschiedene Verhältnisse der Resonanzfrequenzen sind die Vergrößerungsfunktionen angegeben. Deutlich ist zu erkennen, daß ein gut ausgelegter Sitz nur ein kleines Verhältnis der Resonanzfrequenzen haben kann. Für die vier untersuchten Sitze ergibt sich $v = 0,75$ bis 1,0. Die Sitze müßten also eine wesentlich niedrigere Resonanzfrequenz erhalten, um ihre Funktion befriedigend erfüllen zu können.

Mit den Relativbewegungen der Sitze gegenüber dem Kolben, d. h. gegenüber dem Schlepper, werden die wirklichen Amplituden der Federung erfaßt. Mit Bezug auf den konstruktiv vorgesehenen Sitzhub kann nach einigen vereinfachenden Annahmen errechnet werden, welche Amplitude die Erregung aufweisen darf, ohne daß die Hubbegrenzungen beansprucht werden. Für die untersuchten Sitze ergeben sich recht unterschiedliche Kurven, **Bild 17**. Allgemein verlaufen die Kurven so, daß sie bei niedrigen Frequenzen aus dem Unendlichen kommen, im Bereich der jeweiligen Resonanzfrequenz ein Minimum erreichen und dann asymptotisch gegen den halben Sitzhub wachsen.

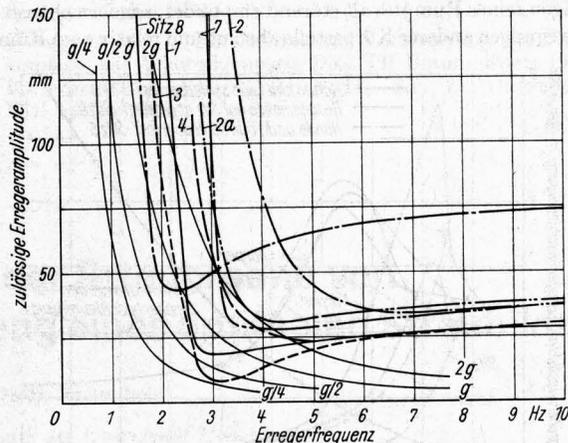


Bild 17. Spektrum der maximal möglichen Erregung auf die untersuchten Sitze (aus **Bild 15** abgeleitet).

Bei fast allen Sitzen ist daher gerade auch im Resonanzgebiet der Schlepper die zulässige Amplitude gering. Die extrem hohen Beanspruchungen treten jedoch auf, wenn der Sitz oben oder unten anschlägt, d. h., der Sitzhub nicht ausreicht. Anzustreben ist daher ein Kurvenverlauf, wie ihn Sitz 8 in dieser Darstellung verwirklicht, wobei das Minimum jedoch von $f = 2,3$ Hz möglichst nach $f = 1,5$ Hz verlagert werden sollte. Dann könnte ein absoluter Wert auch noch etwas niedriger liegen.

7.3 Grenzen der Verlängerung des Sitzhubes

Eine grundsätzliche Möglichkeit, die zulässige Amplitude zu erhöhen, ergibt sich durch Vergrößerung des verfügbaren Sitzhubes. Hier sind nach oben bei heutigen Schlepperkonstruktionen noch Grenzen gesteckt durch den Aufbau des Getriebelocks, der Hydraulikanlage usw. Eine andere Grenze, die sich ebenso auf die heutige Schlepperbauart bezieht, leitet sich aus den Erfordernissen der Bedienung her. Der Fahrer muß während der Fahrt mit seinen Armen und Beinen den Kontakt zu den Bedienelementen halten, die mit dem Schlepperrumpf verbunden sind und sich relativ zum Sitz, d. h. proportional zum Hub, bewegen. Einerseits werden die Fahrzeugführung und die Arbeitsqualität erschwert bzw. ungünstig beeinflusst, andererseits werden über die Extremitäten Schwingungen in den Körper des Fahrers eingeleitet. Zur Klärung dieses Einflusses seien Versuchsergebnisse angeführt, die auf dem Schwingstand, **Bild 13**, gewonnen wurden.

An der Versuchsperson wurden an Knie, Rücken und Kopf die Vertikalbeschleunigungen gemessen, ebenso an der Sitzschale und am Kolben (entspricht dem Schlepperrumpf). Im Frequenzband von 1 bis 15 Hz wurden Erregeramplituden zwischen $a = \pm 4$ und ± 33 mm eingestellt. Die Versuche wurden mit einem ungefederten, jedoch gepolsterten Sitz 5 und einem gefederten, gedämpften und gepolsterten Sitz 8 durchgeführt. Auf dem Sitz 8 stützte die Versuchsperson einmal die Arme und Beine über Hände und Füße auf dem Lenkrad bzw. dem Getriebelock ab, während in Parallelversuchen die gesamte Fahrer- masse auf dem Sitz ruhte, die Versuchsperson Arme und Beine

anhob. Dadurch sollten die Verhältnisse in einer Schlepperkabine oder bei sitzfesten Bedienungselementen simuliert werden.

Die Meßergebnisse dieser beiden Varianten sowie des starren Sitzes sind in **Bild 18** für einen mittleren Hub gegenübergestellt.

Die Ergebnisse sind als Vielfache der Erregeramplitude dargestellt. Die Resonanzfrequenz des Systems Sitz — Fahrer wird durch die zusätzlichen Massen (Arme und Beine) erniedrigt. Daher sind die Beschleunigungswerte im wichtigen Bereich von 2 bis 4 Hz entscheidend höher, wenn lediglich der Körper des Fahrers auf dem Sitz ruht. Stehen die Beine auf dem Schlepper, ist die Beschleunigung am Knie im gesamten gemessenen Frequenzbereich sehr hoch, bei etwa 3,5 Hz zeigt sich ein Resonanzbereich. Die Vermutung, daß die Bewegungen von den Beinen und Armen in den Körper weitergeleitet werden, kann durch die Messungen nicht bestätigt werden, die Erhöhung erfolgt wegen der verschobenen Resonanzfrequenz des Gesamtsystems. Der subjektive Eindruck, daß der Fahrer ruhiger sitzt, wenn er Arme und Beine anhebt, wird im wesentlichen darauf zurückzuführen sein, daß der Mensch nicht nur erzwungene Schwingungen seines Rumpfes als störend empfindet, sondern ebenso die Bewegungen anderer Körperteile absolut und relativ zum Rumpf.

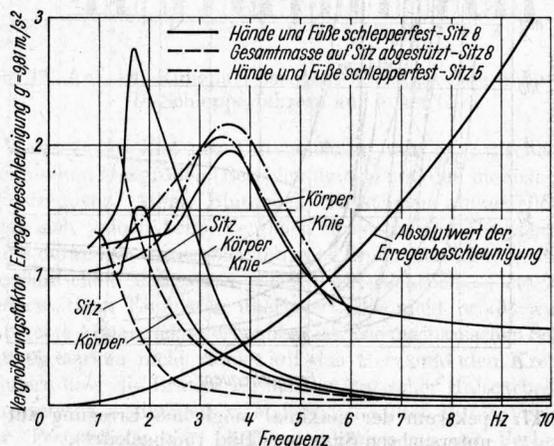


Bild 18. Vergrößerungsfunktionen für den Schlepperfahrer auf guten und schlechten Sitzen.

Sitz 8: gefedert, gedämpft, gepolstert
Sitz 5: gepolstert
Erregerhub ± 8 mm

Gegenüber dem guten Sitz 8 zeigt der Sitz 5 erheblich ungünstigere Werte, die gerade im Bereich zwischen 2,5 und 4,5 Hz bis zur 2,2fachen Erregeramplitude ansteigen. Die Beschleunigungen am Knie liegen in der gleichen Größenordnung wie bei abgestützten Beinen auf dem Sitz 8.

Da der Sitz 8 eine ausgeprägte degressive Federung aufweist [8], ist sein Frequenzgang von der Erregungsamplitude abhängig, **Bild 19**. Bei größeren Hüben ist außerdem der auf dem Sitz abgestützte Massenanteil größer. Die Unterschiede in der Ausprägung des Maximums sind bei diesem relativ gering gedämpften System auf die jeweilige Sitzhaltung und Verfassung des Fahrers,

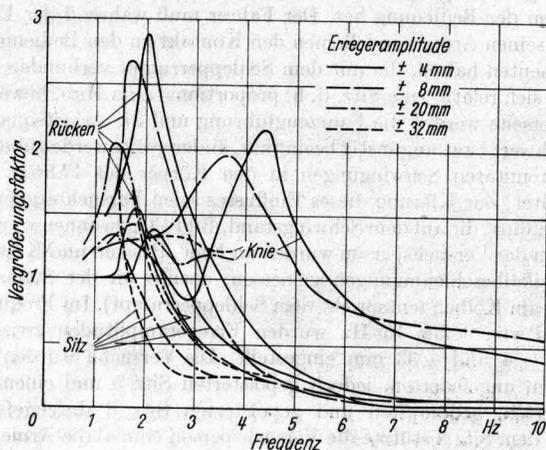


Bild 19. Vergrößerungsfunktionen für Sitz 8 (gefedert, gedämpft, gepolstert) und Fahrer bei verschiedenen Erregeramplituden. Der Fahrer stützt Hände und Füße auf den Bedienungorganen ab.

d. h. auf seine Rückwirkungen auf den Sitz, zurückzuführen. Die Beschleunigungen an Kopf und Rücken liegen in einem Streubereich und sind daher durch nur jeweils eine Kurve wiederzugeben. Ihre Werte verhalten sich analog zu den Kurven des Sitzes, d. h., die einwirkende Beschleunigung bei einer beliebigen Frequenz im Bereich von etwa 1,5 bis 6 Hz wächst überproportional mit der Erregeramplitude.

Für den Fall, daß die gesamte Masse des Fahrers auf dem Sitz abgestützt wird, **Bild 20**, liegen die Ergebnisse für die Sitze und den Fahrer in einem engen Streuband. Die Beschleunigung am Fahrer steigt nur direkt proportional dem Erregerhub. Außerdem liegen die Absolutwerte wesentlich unter den vorgenannten, wie ein Vergleich mit **Bild 19** zeigt, was auf die günstigeren Massenverhältnisse zurückzuführen ist.

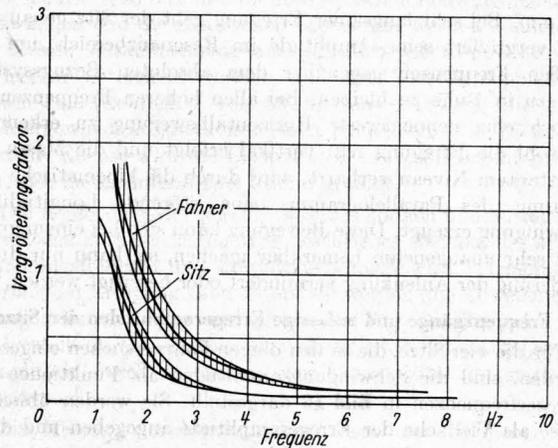


Bild 20. Vergrößerungsfunktionen für Sitz 8 und Fahrer bei verschiedenen Erregeramplituden von ± 8 mm bis ± 32 mm. Der Fahrer stützt seine Gesamtmasse auf dem Sitz ab.

Bei guten Schleppersitzen, die entsprechend eine niedrige Frequenzabstimmung aufweisen, ist also mit höheren Beanspruchungen für den Fahrer zu rechnen, wenn er seine Füße an nicht konform mitschwingenden Elementen abstützen muß. Insgesamt muß gesagt werden, daß auch ein guter Sitz den Schlepperfahrer nur bedingt vor Schwingungen schützen kann. Da dem Fahrer über sein Hand-Arm-System vom Lenkrad und sein Fuß-Bein-System von den Pedalen Schwingungen aufgezungen werden, ist er trotzdem nur schlecht schwingungs isoliert.

Zur Verbesserung müßten alle Schlepperteile, die der Fahrer berühren und während der Fahrt bedienen muß, im gleichen Sinne mit dem Sitz schwingen. Eine einfache Lösung wäre es, diese Elemente so auszubilden, daß sie passiv den Bewegungen des Sitzes bzw. des Fahrers folgten. Dann gestaltet sich die Signalübergabe jedoch schwierig.

8 Die Fahrerkabine ermöglicht verbesserten Fahrkomfort

Die richtige Lösung scheint eine Schlepperkabine zu sein, die gegen den Schlepperrumpf in geeigneter Weise abgefedert ist. Alle Bedienungselemente müssen in die Kabine hineingeführt werden und relativ zu ihr in Ruhe sein. Im Augenblick mag diese Lösung als ziemlich aufwendig und teuer erscheinen. Aufgrund der vorliegenden Untersuchungen dürfte es jedoch die billigste sein, die zum Erfolg führen kann.

Zugleich mit den besprochenen Argumenten ergibt eine Kabine jedoch in vielerlei Hinsicht für den Fahrkomfort die Grundvoraussetzungen, die für eine befriedigende Lösung der Probleme unumgänglich sind, die in der Aufstellung der Einleitung ausgeführt wurden: Über die Schwingungen wurde bereits berichtet. Die relative Lage der Bedienungselemente kann neu und freier gestaltet werden, sie ist dann konstant. Die Bedienkräfte können besser dosiert und gefühlvoller aufgebracht werden. Für die Sitzform usw. ergeben sich Konsequenzen, die noch nicht zu übersehen sind. Durch eine Kabine wird sowohl die Umsturz-sicherheit, wie auch besonders die Abwehr der Witterungseinflüsse ermöglicht. Der Geräuschpegel am Ohr des Fahrers, der für unsere Betrachtungen maßgebend ist, kann durch eine gute Kabine entscheidend gesenkt werden. Eine wirkungsvolle Heizung für den Fahrerplatz wird ermöglicht.

