

# Landtechnische Forschung

HERAUSGEBER: KURATORIUM FÜR TECHNIK IN DER LANDWIRTSCHAFT  
UND FACHGEMEINSCHAFT LANDMASCHINEN IM VDMA

Heft 6/1960

MÜNCHEN

10. JAHRGANG

Heinrich Dupuis:

## Schwingungsuntersuchungen bei Schleppern auf einem Rollenprüfstand

*Max-Planck-Institut für Landarbeit und Landtechnik, Bad Kreuznach<sup>1)</sup>*

### Bisherige Untersuchungen

Die auf ein Kraftfahrzeug einwirkenden Schwingungen werden in erster Linie durch die Fahrbahn und den Motor verursacht. Darüber hinaus können noch horizontale Schwingungen durch Beschleunigungs- und Bremsvorgänge und wechselnden Zugwiderstand auftreten. Letztere sind jedoch wahrscheinlich für die Beanspruchung des Schlepperfahrers von untergeordneter Bedeutung, so daß sie in dieser Arbeit nicht untersucht wurden. Ebenso wurde der Einfluß der Motorschwingungen zunächst nicht mit erfaßt, sondern bleibt weiteren Untersuchungen im Zusammenhang mit Lärmmessungen vorbehalten. Einzelmessungen liegen von CIBBIAN [1; 2] vor.

Die von der Fahrbahn verursachten Schwingungen äußern sich in einer Schwingbeanspruchung der Konstruktionsteile des Schleppers. Wegen ihrer niedrigen Frequenzen wirken sie aber vor allem auf den Schlepperfahrer, dessen Hauptresonanzfrequenz bei vertikaler Schwingungseinwirkung mit etwa 4—5 Hz ebenfalls sehr niedrig liegt [3 · 6]. Nur im Stehen ist der Fahrer in der Lage, durch Abfedern in den Knien die Übertragung der Fahrzeugschwingungen auf den Körper zu vermindern. Stehen kann ihm jedoch auf die Dauer nicht zugemutet werden, insbesondere, da er eine Vielzahl von Hebeln kontrollieren muß. Der Schleppersitz ist daher ein Arbeitssitz und muß als solcher nach den „Richtlinien für die Gestaltung und Ausüstung der Führerhäuser von Kraftwagen, Zugmaschinen und Arbeitsmaschinen“ [7] ausreichend gefedert und gepolstert sein.

Das Verhalten der Schleppersitzfederung ist ein schwingungstechnisches Problem und wurde bereits 1953 von HAACK [8] rechnerisch und experimentell untersucht. Dabei wurde mit einem Versuchsschlepper auf einer kurzen Wellenbahn mit periodischen Hindernissen gefahren. Schwingweg, Beschleunigung und subjektive Beurteilung durch die Fahrer dienten der Sitzbewertung. Auf der Wellenfahrbahn wurden sehr extreme Schwingungsverhältnisse erzeugt. Von ISENDAHL [9] wurden Schwingungsmessungen für Entwicklungsarbeiten durchgeführt.

Im praktischen Fahrbetrieb wurden von RADKE [10] und SIMONS [6] Schwingungen sowohl bei Schleppern als auch bei Kraftfahrzeugen anderer Art gemessen. Es konnte dabei eine Verminderung der Beschleunigungen durch eine verbesserte Sitzkonstruktion nachgewiesen werden.

Die Beanspruchung des Menschen durch Erschütterungen ist in den Vorkriegsjahren vor allem von COERMANN [11], REIHER und MEISTER [12], ZELLER [13], MÜLLER [5] und BÉKÉSY [14], in den frühen Nachkriegsjahren von JANEWAY [15], MCFARLAND [16], ZELLER [17] und KUHN und SCHEFFLER [18] untersucht worden, deren Arbeiten teilweise von HAACK [19] zitiert und teilweise von DIECKMANN [3] für die Ermittlung von zulässigen Grenzwerten kritisch betrachtet werden. Aber erst die Grundlagenuntersuchungen, die von DIECKMANN [3; 20–22] im Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie, Dortmund, durchgeführt wurden, haben Zusammenhänge zwischen den physikalischen Größen einer Schwingung und den physiologischen Beeinflussungen des Menschen

geklärt. Diese Arbeiten dienten daher auch als Grundlage für den VDI-Beurteilungsmaßstab für Schwingungen [23].

Die körperliche Beanspruchung des Schlepperfahrers auf verschiedenen Sitzen konnte in eigenen Versuchsreihen sowohl bei Feld- und Straßenfahrten als auch auf einem Schwingtisch untersucht werden [24–26]. Dabei wurden der menschliche Energieverbrauch und die elektrische Hautkapazität, ein Maß für Änderungen im vegetativen Nervensystem, erfaßt. Die Ergebnisse zeigten, daß der Schlepperfahrer im Durchschnitt verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten etwa 40% seines Gesamtaufwandes allein für das Sitzen benötigt, und ließen — ebenso wie die Arbeiten von HAACK [8; 19] — Erkenntnisse für die Sitzkonstruktion zu. Es konnten hieraus bereits einige Merkmale für die Bewertung von Sitzen nach einem Punktierungsschema ausgearbeitet werden [27; 28].

Das Ausmaß eventueller gesundheitlicher Schädigungen durch Schlepperfahren ist bisher kaum erfaßt worden. HAACK [19] weist darauf hin, daß auf Grund seiner Untersuchungen bei schwingungsempfindlichen Menschen mit dem Auftreten von Berufskrankheiten gerechnet werden muß. Daß langjährige Schlepperfahrer dauergeschädigt sein können, beweist die Röntgenreihenuntersuchung von ROSEGER [29]. Danach zeigten 76% der untersuchten 233 Schlepperfahrer röntgenologisch einen krankhaften Befund des Magens. Besonders häufig treten Magen-senkungen in Verbindung mit Schleimhautentzündungen auf.

Es muß weiterhin angenommen werden, daß Schlepperfahrer vorübergehend oder dauernd bandscheibengeschädigt werden können, da die Wirbelsäule durch die vertikalen Schwingungen überlastet werden kann und die Bandscheiben einem anormalen Verschleiß ausgesetzt sind [30]. Nach CHRIST [31] muß mit einem erhöhten Verschleiß gerechnet werden, wenn „die Leistungsbreite der Wirbelsäule durch angeborene oder erworbene Fehler verringert“ wird. Die jugendliche Wirbelsäule ist besonders gefährdet, da sie noch nicht ausgereift ist und da die Schleppersitze in ihrer Federung im allgemeinen für schwere Fahrer konstruiert sind. Das Ausmaß der möglichen Gesundheitsschädigungen am Skelett, insbesondere an der Wirbelsäule zu erfassen, ist Aufgabe einer späteren Untersuchung mit Röntgenreihenaufnahmen und gegebenenfalls mit Röntgenkinomatografie.

### Aufgabe der vorliegenden Untersuchung

Die Aufgabe dieser Untersuchung ist, grundsätzliche Fragen in den Beziehungen der Schwingungen am Fahrzeug und am Menschen zu klären, um daraus Schlüsse für den Konstrukteur ziehen zu können. Dabei sollte gleichzeitig eine Prüfmethode geschaffen werden, die exakte Vergleichsmessungen mit verschie-

<sup>1)</sup> Die Untersuchungen wurden durch finanzielle Hilfe von Seiten des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn, gefördert. Außerdem haben die Firmen Rheinstahl-Hanomag, Hannover, Güdner-Motorenwerke, Aschaffenburg, und Bremshey & Co, Solingen, die Arbeiten unterstützt. Dem Ministerium und den Firmen sei an dieser Stelle Dank ausgesprochen. Für die meßtechnische Versuchsvorbereitung und Mitarbeit gilt mein besonderer Dank Herrn Ing. BROICHER, für medizinische Beratung und Zusammenarbeit bei den Filmaufnahmen Herrn Dr. med. CHRIST, Berufsgenossenschaftliche Klinik, Tübingen

denen Sitzen zuläßt. Im einzelnen sind folgende Fragen zu untersuchen:

1. Werden Fahrer mit unterschiedlichem Gewicht durch die Schwingungen verschieden beansprucht, und inwieweit lassen sich durch Anpassung der Sitzfederung Verbesserungen erzielen?
2. Welchen Einfluß hat die Fahrgeschwindigkeit beziehungsweise Hindernisfrequenz, besonders im Bereich der Eigenfrequenz des Menschen?
3. In welchem Maße werden die Schwingungen des Sitzes auf einzelne Körperbereiche des Menschen übertragen?
4. Lassen sich durch Änderung des Luftdruckes der Reifen die Schwingungen vermindern?
5. Wie wirken sich verschiedene Vorderachsfederungen auf das Fahrgestell und auf den Menschen aus?
6. Bietet es einen Vorteil, den Sitz, der üblicherweise etwa über der Hinterachse liegt, an anderen Stellen des Schleppers anzuordnen?
7. Welche Schwingungen treten bei käuflichen Schleppersitzen auf? Welche zumutbaren Belastungsgrenzen gibt es, und wodurch lassen sich konstruktiv die Schwingungen für den Fahrer innerhalb dieser Grenzen halten?
8. Wie groß ist die Schwingungsbeanspruchung des Menschen auf Beifahrersitzen?

### Methodik und Versuchsbedingungen

Die früheren Sitzuntersuchungen haben gezeigt, daß es im praktischen Fahrbetrieb unmöglich und auch bei Hindernisbahnen schwierig ist, für alle Versuche die Bedingungen gleich zu halten. Für die oben genannten Aufgaben mußte jedoch eine Reproduzierbarkeit der Versuche unbedingt gefordert werden. Da außerdem

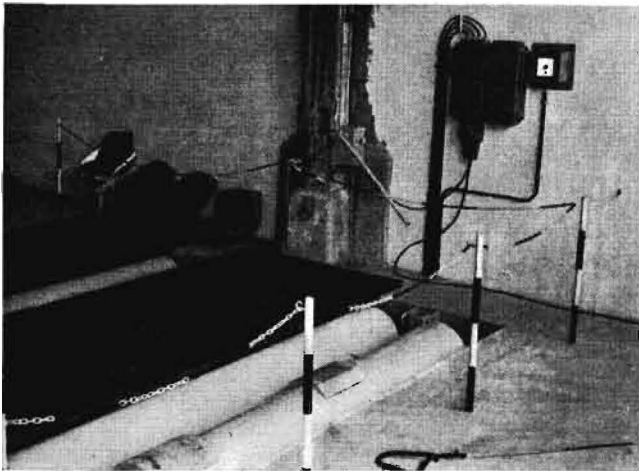


Bild 1: Rollenprüfstand mit drei Antriebswalzen und Schalttafel

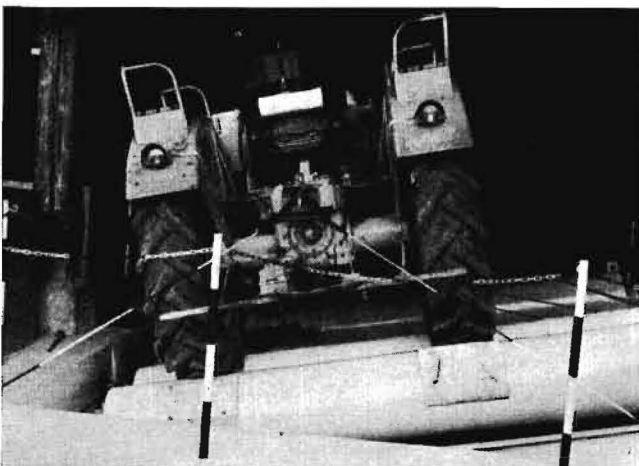


Bild 2: Schlepper auf schräggestelltem Prüfstand zur Nachahmung der Verhältnisse am Hang

die Schwingungsmessungen auf elektronischem Wege durchgeführt werden sollten, mußte für die Arbeiten ein Versuchsraum zur Verfügung stehen. Zur Erzeugung der von der Fahrbahn verursachten Schlepperschwingungen wurde ein Rollenprüfstand ebenerdig in den Versuchsraum eingebaut. Bei den Versuchen fährt also nicht der Schlepper über eine Fahrbahn, sondern die Fahrbahn rollt unter dem Schlepper ab. Damit bei stillstehendem Schleppermotor gefahren werden kann, haben die Rollen einen eigenen Antrieb.

### 1. Rollenprüfstand

Der Rollenprüfstand besteht aus einem Rahmen, auf dem drei 3 m breite Antriebswalzen aufgebaut sind (Bild 1). Zwei Walzen nehmen die Hinterräder auf, die dritte die Vorderräder. Die Breite der Walzen läßt verschiedene Spurweiten der zu untersuchenden Schlepper oder Landmaschinen zu. Für verschiedene Achsabstände kann die Entfernung der vorderen zu den hinteren Walzen geändert werden. Der gesamte Prüfstand kann mit einer von Hand zu betätigenden Hydraulikpumpe einseitig gehoben und bis zu 16° gekippt werden (Bild 2), so daß Bedingungen wie beim Fahren am Seitenhang geschaffen werden können.

Die Walzen werden durch einen stufenlos regelbaren Elektromotor über ein Automobil-Schaltgetriebe angetrieben. Da der Drehzahlbereich des Motors im Verhältnis 1:6 geändert werden kann und die extremen Gänge des Getriebes sich wie 1:3,2 verhalten, kann mit einem Geschwindigkeitsbereich von 2,8 bis 53,8 km/h gearbeitet werden. Die hohen Geschwindigkeiten konnten jedoch mangels ausreichender Motorleistung nicht ausgenutzt werden. Bisher wurde nicht schneller als 30 km/h gefahren.

Je nach der gewünschten Hindernisfrequenz und Hindernishöhe können Hindernisse in verschiedener Anzahl und Größe auf die Walzen montiert werden. Die Hindernisse bestehen aus Holz und sind mit Schrauben zu befestigen. In Vorversuchen [32] hatte sich ergeben, daß bei einer Fahrgeschwindigkeit von 7 km/h, entsprechend etwa 3 Hz Hindernisfrequenz, mit Hindernissen von 30 mm Höhe Schwingbeschleunigungen am Fahrerrücken auftreten, wie sie auch etwa in gleicher Größenordnung bei Feldwegfahrt (8 km/h, etwa 2 Hz) vorkommen. Da sich später zeigte, daß bei höherer Hindernisfrequenz, insbesondere bei 4 Hz und 6 Hz, wesentlich größere Schwingbeschleunigungen entstehen, wurden für alle weiteren Versuche auf dem Rollenprüfstand nur Hindernisse von 11 mm Höhe verwendet. Die Hindernisse sind 320 mm lang und wurden bogenförmig auf die Oberfläche der Antriebswalzen montiert (Bild 3). Sie wirken wechselweise auf das rechte und linke Hinterrad, jeweils um 180° versetzt (Bild 4). Mit gleicher Frequenz, jedoch um 90° phasenverschoben, wirken auf die Vorderräder zwei weitere Hindernisse.

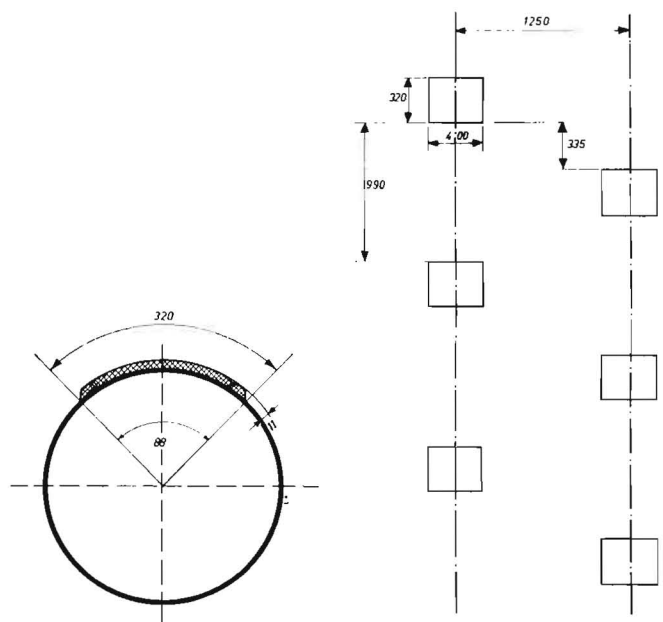


Bild 3 (links): Antriebswalze mit aufgeschraubtem Hindernis im Schnitt  
Bild 4 (rechts): Die von den Antriebswalzen erzeugte Hindernisbahn

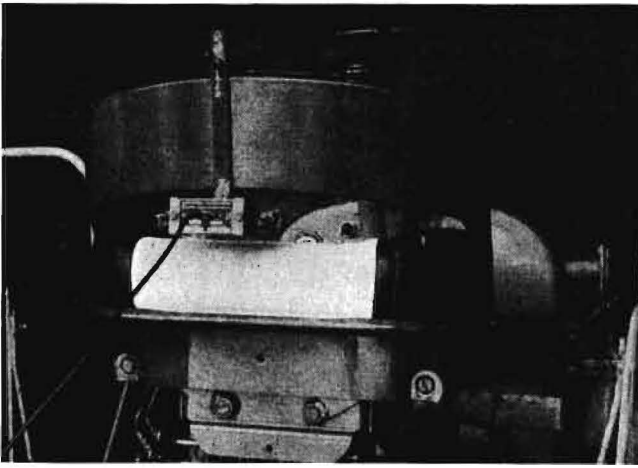


Bild 5: Beschleunigungsaufnehmer, an Beckenstütze angebracht

## 2. Versuchsschlepper

Abgesehen von den Versuchsreihen 6 und 9, die Fragen an bestimmten Schleppern klären sollten, wurde für alle Versuche ein 25-PS-Güldner-Schlepper vom Typ A2B verwendet, der folgende Fahrzeugdaten hat:

Leergewicht:	1460 kg;
Hinterachslast:	910 kg;
Vorderachslast:	550 kg;
Bereifung, hinten:	10—28 AS; 1,0 atü;
Bereifung, vorn:	5,00—16 AS-Front; 1,5 atü;
Radstand:	1980 mm;

## 3. Versuchspersonen

Da eine Hauptfrage der Untersuchung der Einfluß verschiedener Fahrergewichte auf die Schwingungen war, wurden an drei Versuchspersonen Messungen durchgeführt (Tafel 1).

Tafel 1: Versuchspersonen

Versuchsperson	Gewicht [kg]	Größe [cm]	Alter [Jahre]
(P)	50	170	17
(J)	69	175	22
(H)	100	185	29

Von diesen Versuchspersonen kann Versuchsperson = VP (J) als „Durchschnittsfahrer“ hinsichtlich seines Gewichtes und seiner Körpergröße gelten. Die Versuchspersonen wurden angewiesen, aufrecht und entspannt zu sitzen, wobei sie sich auf der Fußplattform und am Lenkrad leicht abstützen konnten.

## 4. Meßgeräte

Durch die Arbeiten von DIECKMANN [3], die in den VDI-Richtlinien [6] ihren Niederschlag gefunden haben, wurde nachgewiesen, daß im niederfrequenten Bereich (bis 5 Hz) die Schwingbeschleunigung  $b$  der menschlichen Beanspruchung gleichgesetzt werden kann. Auch bei Frequenzen über 5 Hz kann die Schwingbeschleunigung als Belastungsmaß gewählt werden; jedoch läuft das Belastungsmaß in diesem Frequenzbereich der Schwingbeschleunigung nicht mehr parallel, sondern ist frequenzabhängig (Vgl. Bild 1 in [23]).

Aus diesem Grunde wurde in erster Linie die Schwingbeschleunigung erfaßt. Gelegentlich war es nötig, auch die Schwingwege zu erfassen. Um eine Kontrolle über die zwischen Fahrer und Sitz auftretenden Kräfte zu bekommen, wurden auch Druckkräfte mit einem Wasserkissen gemessen. Als Meßwertaufnehmer wurden induktive Beschleunigungsaufnehmer (Typ B1), induktive Schwingwegaufnehmer (Typ W 50) und induktive Druckaufnehmer (Typ P1) der Firma Hottinger-Meßtechnik, Darmstadt, benutzt (Bilder 5 bis 7). Diese können mit Meßverstärkern (Typ KWS II/5) verbunden werden, von denen drei zur Verfügung

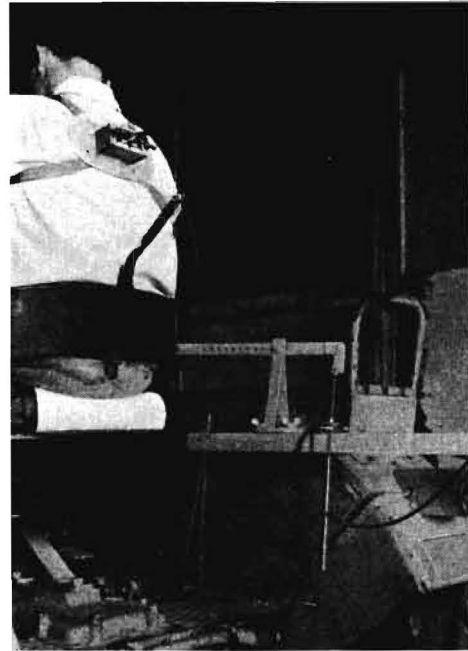


Bild 6: Beschleunigungsaufnehmer am Rücken, Wegaufnehmer an Beckenstütze angebracht

standen (Bild 8). Es konnten dabei jeweils drei Größen gleichzeitig erfaßt werden. Zur Registrierung wurde der vierkanalige Oszilloscript (Typ PF 1000/4), System Schwarzer der Firma Philips, verwendet (Bild 8). In den meisten Fällen wurde der vierte Kanal zur Aufzeichnung einer Zeitmarke (Netzfrequenz) benutzt.

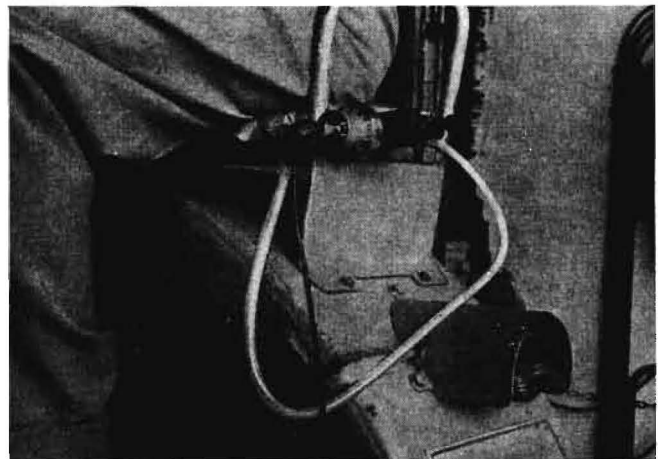


Bild 7: Druckaufnehmer mit Wasserkissen zur Messung der zwischen Fahrer und Sitz auftretenden Kräfte



Bild 8: Drei Meßverstärker und Oszilloscript

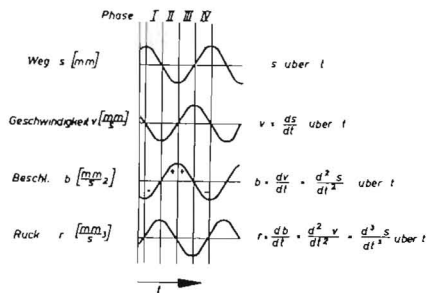


Bild 9: Der Schwingweg und seine physikalischen Ableitungen

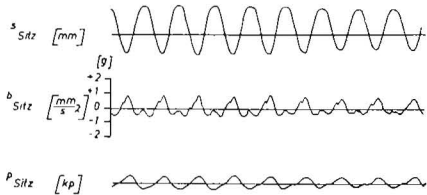


Bild 10: Gleichzeitig aufgenommene Kurven von Schwingweg, Schwingbeschleunigung und Kraft

### 5. Schwingungsphysikalische Definitionen und Eichungen

Grundsätzlich gelten die physikalischen Beziehungen zwischen Schwingweg, Schwinggeschwindigkeit, Schwingbeschleunigung und Ruck als Ableitungen voneinander (Bild 9). Daraus ergibt sich für die von uns meßbaren Größen Schwingweg und Schwingbeschleunigung eine Phasenverschiebung von  $180^\circ$ . Auf Grund der Beziehung Kraft = Masse · Beschleunigung muß die Kurve der Kraft phasengleich mit der Beschleunigung verlaufen, wenn es sich um die Schwingung einer reinen Masse handelt (Bild 10). Befindet sich zwischen den Meßstellen von Kraft und Beschleunigung ein Federelement, so findet eine Phasenverschiebung statt.

Eine vertikal schwingende Masse<sup>2)</sup> bewegt sich wechselnd nach oben und unten und wird dabei beschleunigt und verzögert. Es ergeben sich hieraus vier Möglichkeiten der Beschleunigung, die den vier Phasen der Schwingbeschleunigungskurve entsprechen (Tafel 2).

Im Ruhezustand (z. B. ruhig sitzender Fahrer) wirkt die Erdbeschleunigung ( $1,0 g = 9,81 \text{ m/s}^2$  in unserer geographischen Breite) als Kraft, die zwischen Fahrer und Sitz als sein Eigengewicht meßbar ist. Wir bezeichnen jedoch mit  $+1 g$  oder  $-1 g$  die Änderung gegenüber dem Ruhewert um den Betrag von  $9,81 \text{ m/s}^2$ , da die Ruhelage — die herrschende Erdbeschleunigung, an die der Mensch gewöhnt ist — der Nulllinie des Schwingungsvorganges entspricht. Entgegen den Vorversuchen [32] sind bei den hier beschriebenen Versuchen die Kurven so aufgenommen

<sup>2)</sup> Es wurden nur Vertikalschwingungen gemessen

Tafel 2: Beschleunigungsphasen einer schwingenden Masse

Bewegungsrichtung der schwingenden Masse	Geschwindigkeitsänderung $b = \frac{dv}{dt}$	entspricht elektr. Spannung am Anzeigerät*)	entspricht Phase**)	Beispiele
abwärts	Beschleunigung	—	I.	Fallenlassen
abwärts	Verzögerung	+	II.	Aufstoßen des Sitzes
aufwärts	Beschleunigung	-	III.	Aufwärtsbeschleunigen
aufwärts	Verzögerung	—	IV.	Obenanstoßen des Sitzes

\*) Siehe Vorzeichen an der Beschleunigungskurve in Bild 9  
 \*\*) In Bild 9

(Bild 10), daß positive g-Werte oberhalb und negative g-Werte unterhalb der Nullachse liegen. Die Nullachse erhält man, indem man den Beschleunigungsaufnehmer so legt, daß die Erdbeschleunigung auf die seismische Masse im Aufnehmer wirken kann, und den Meßverstärker in diesem Zustand auf Null abgleicht. Zur Eichung wird der Meßwertaufnehmer um  $90^\circ$  gedreht, so daß die Erdbeschleunigung auf die seismische Masse nicht wirksam werden kann. Die Differenz der beiden Lagen des Aufnehmers entspricht einer Beschleunigung von  $1,0 g$ .

Für die Größe einer Schwingbeschleunigung wird hier deren Amplitude (Schwingungsweite oder Scheitelwert) in g, also der Unterschied der Tal- beziehungsweise Gipfelwerte gegen die Nullachse, angegeben [33]. Die Amplitude wird aus Tal- und Gipfelwert gemittelt.

Die Eichung des Wegaufnehmers erfolgte durch Bewegung der Tauchnadel mit Abmessen des Weges in Millimeter. Der mit dem Wasserkissen durch einen Schlauch verbundene Druckaufnehmer wurde durch Auflegen verschiedener Gewichte auf das Kissen geeicht.

### 6. Sicherung der Meßwerte

Die vom Prüfstand und den zu untersuchenden Schleppern und Sitzen gegebenen und auch auf Wunsch einstellbaren Einflüsse (Fahrgeschwindigkeit, Hindernisfrequenz, Hindernishöhe, Reifendruck usw.) lassen sich weitgehend konstant halten, so daß in Wiederholungsversuchen die Versuchsbedingungen und die erzielten Ergebnisse nur geringe Abweichungen voneinander zeigten. Die relativ größten Abweichungen sind durch unterschiedliches Verhalten des Fahrers möglich. Eine verkrampte Körperhaltung kann die am Menschen meßbaren Werte zwar verfälschen; da die Versuchspersonen jedoch aufrecht und entspannt saßen mit bequemer Abstützung der Beine auf der Fußplattform und leichtem Festhalten der Hände am Lenkrad, traten nur geringe Abweichungen der erzielten Ergebnisse im Wiederholungsversuch auf. Die aufgenommenen Meßkurven von Wiederholungsversuchen können im allgemeinen bei Übereinanderlegen sogar sauber zur Deckung gebracht werden.

Zur Klärung der Größe des mittleren Fehlers der Durchschnittswerte wurden Schwingungsmessungen mit achtfacher Wiederholung durchgeführt. Dabei ergaben sich m%-Werte<sup>3)</sup> von 1,61 bis 5,95. Es zeigte sich eine Tendenz niedriger m%-Werte bei großen Beschleunigungen, so daß angenommen werden muß, daß die Abweichungen vom Mittelwert in erster Linie durch den Grad der Ablesegenauigkeit bedingt sind. Die relativ niedrigen m%-Werte weisen darauf hin, daß die Versuchsbedingungen am Prüfstand weitgehend gleichgehalten werden können. Zur Vereinfachung wurde bei den Versuchsreihen deshalb darauf verzichtet, Wiederholungsversuche durchzuführen.

### Versuche und Ergebnisse

#### Versuchsreihe 1

#### Vergleichsversuche zwischen Fahrten auf Rollenprüfstand und Feldweg

Die Fahrbahnen des landwirtschaftlichen Schleppers sind Acker, Feldwege und — in geringerem Maße — Straßen. Auf Ackerboden sind die auftretenden Schwingungen gegenüber Feldwegen vergleichsweise gering, da die durch die Arbeitsgeräte gegebenen Fahrgeschwindigkeiten niedrig (im allgemeinen unter  $8 \text{ km/h}$ ) liegen und der Boden zu einem gewissen Grade verformbar ist und sich dem Reifen anpaßt. Die größten Schwingungen kommen daher auf schlechten Feldwegen vor. Um die Transportzeiten zu vermindern, ist der Schlepperrfahrer bestrebt, auch auf Feldwegen mit möglichst hoher Geschwindigkeit zu fahren. Die Zugleistung läßt meistens auf festen Wegen solche Geschwindigkeiten zu.

Wichtig ist die Frage, ob die auf dem Rollenprüfstand erzeugbaren Schwingungen in ihrer Größenordnung den in der Praxis vorkommenden Verhältnissen entsprechen. Es wurden daher vergleichende Beschleunigungsmessungen am Rücken der Versuchsperson (J) auf dem Versuchsschlepper sowohl auf Feldweg als auch

<sup>3)</sup>  $m\% = \frac{m \times 100}{A}$

m = mittlerer Fehler der Durchschnittswerte;  
 A = arithmetisches Mittel



auf dem Rollenprüfstand durchgeführt. Von den Meßergebnissen sind einige Beschleunigungskurven in Bild 11 dargestellt. Die unter „A“ wiedergegebenen Kurven entsprechen Verhältnissen, die vom Fahrer subjektiv als „erträgliche Belastung“ empfunden wurden. Wenn auch die auf dem Prüfstand aufgenommene Kurve erklärlicherweise viel gleichmäßiger verläuft als die auf der ungleichförmigen Feldwegfahrt ermittelte, so liegen doch die Beschleunigungen in gleicher Größenordnung. Mit einem schlechten Sitz ergaben sich bei Feldwegfahrt dagegen sehr hohe Beschleunigungswerte („B“), die vom Fahrer als sehr unangenehm empfunden wurden. Auf dem Rollenprüfstand wurden — auch im Gebiet der Resonanzfrequenz — nicht ganz so hohe Werte erreicht. Das wäre zwar mit Hilfe höherer Hindernisse wie in den Vorversuchen [32] möglich gewesen, jedoch dürfen die im Prüfstandversuch kontinuierlich auftretenden Schwingungen keine zu extremen Werte annehmen. Auf Feldwegfahrt werden nämlich starke Schwingungen von schwächeren Schwingungen abgelöst. Da auch die gemessenen Frequenzen ungefähr in ähnlicher Größenordnung liegen, kann gesagt werden, daß sich auf dem Rollenprüfstand ähnliche Schwingungsverhältnisse erzeugen lassen, wie sie bei Feldwegfahrt vorkommen.

### Versuchsreihe 2

#### Kraftmessung zwischen Fahrer und Sitz

Die auf den Fahrer einwirkenden Schwingkräfte sind entscheidend für seine körperliche Beanspruchung. Sie wirken auf die inneren Organe der Brust und Bauchhöhle und führen zur Belastung der Wirbelsäule, das heißt zu deren Stauchung und Streckung.

Auf sehr schlechtem Feldweg wurden mit dem Versuchsschlepper und Sitz (Fg = gummischnurverspanntes Sitzkissen) und Versuchsperson (J) gleichzeitig Kraft- und Beschleunigungsmessungen zwischen Fahrer und Sitzkissen durchgeführt. Von den bei 12 km/h Fahrgeschwindigkeit aufgenommenen Kurven sind Ausschnitte in Bild 12 wiedergegeben.

Die Kurven der Beschleunigung und Kraft verlaufen sehr ähnlich — und wie in Bild 10 — phasengleich. Da jedoch das Wasserkissen über eine völlige Gewichtsentlastung hinaus keinen negativen Druck aufnimmt, kann die Kraftkurve nicht wie die Beschleunigungskurve auch Ausschläge unterhalb der Nulllinie zeigen. Die Kraftkurve läßt erkennen, daß der Fahrer gelegentlich ganz vom Sitz abgehoben wird (Kraft = 0) und dann wieder auf den Sitz zurückfällt. Dabei kommen jeweils sehr hohe Kräfte vor, die maximal 320 kp erreichten. Die gleichzeitig gemessenen Beschleunigungsamplituden (= halbe Schwingungsbreite der Beschleunigung) erreichten Werte bis zu 2,4 g.

Wenn auch die Fahrbedingungen sehr ungünstig waren, so kommen solche Verhältnisse doch oft vor. Das Abheben des Fahrers vom Sitz ist in der Praxis keine Seltenheit, insbesondere, wenn der Fahrer Hindernisse (Steine oder Schlaglöcher) nicht rechtzeitig genug erkennen und seine Fahrgeschwindigkeit darauf einstellen kann. Die kinetische Energie eines solchen Stoßes in der Größenordnung bis zu 300 kp trifft — nur mit geringer Dämpfung durch das „Sitzfleisch“ — auf die Sitzbeinhöcker und wird über das Becken auf die Wirbelsäule übertragen. Wenn auch Druckmessungen an den Bandscheiben noch nicht möglich und das Resonanzverhalten der Becken-, Oberkörper- und Kopfpforten noch nicht bekannt sind, so muß doch nach CHRIST [31] bei solchen Belastungen mit erheblichen Verschleißschäden an den betroffenen Abschnitten der Wirbelsäule gerechnet werden.

### Versuchsreihe 3

#### Einfluß der Fahrgeschwindigkeit und Hindernisfrequenz

Um die Wegezeiten für Fahrten zwischen Hof und Feld und zwischen Hof und Stadt zu vermindern, ist der Schlepperfahrer in der Praxis bestrebt, mit einer dem Leistungsvermögen seines Schleppers entsprechenden, möglichst hohen Geschwindigkeit zu fahren. Die Zugleistung der Schlepper läßt im allgemeinen beim Fahren auf festen Wegen und Straßen Geschwindigkeiten in den beiden schnellsten Gängen (10—20 km/h) zu. Es interessiert daher die Frage, welchen Einfluß unterschiedliche Fahrgeschwindigkeiten auf die Größe der entstehenden Schwingungen haben.

Bei konstantem Hindernisabstand nimmt mit steigender Fahrgeschwindigkeit die Hindernisfrequenz zu. Für die Größe der

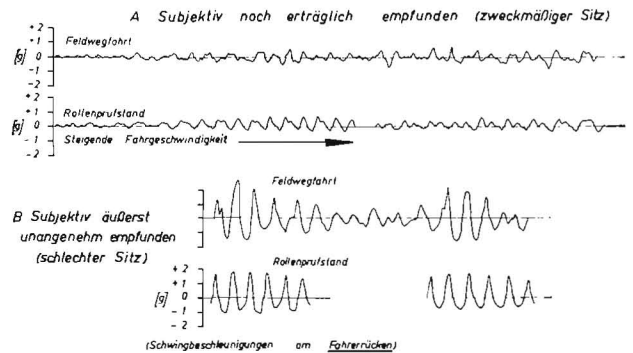


Bild 11: Vergleich von Feldwegfahrt und Rollenprüfstand

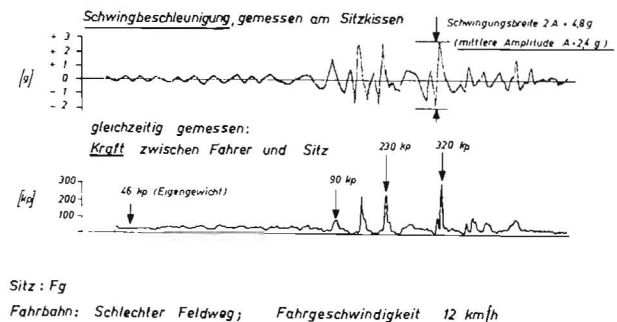


Bild 12: Schwingbelastung des Schlepperfahrers auf Feldweg

Schwingungen ist neben der Geschwindigkeit, mit der der Reifen auf das Hindernis auftrifft, die Häufigkeit der vorkommenden Hindernisse je Zeiteinheit, also deren Frequenz, entscheidend. Es wurde ein konstanter Hindernisabstand (nach Bild 4) gewählt und die Fahrgeschwindigkeit bei allen Versuchen stufenweise gesteigert.

Auffallend ist bei allen Beschleunigungskurven (Bilder 13 und 20), daß — nur leicht verschoben bei den verschiedenen Schleppern, Sitzen und den verschiedenen Fahrern — die Schwingbeschleunigungen im Bereich von 8—10 km/h und im Bereich von 13—15 km/h die höchsten Werte erreichen. Ein gesonderter Versuch, kontinuierlich bis zu 25 km/h Höchstgeschwindigkeit gefahren, zeigt (Bild 13), daß ein weiterer Bereich der Aufschaukelung bei etwa 19 km/h liegt. Die genannten Bereiche entsprechen erregenden Hindernisfrequenzen von etwa 4 Hz (9,6 km/h), 6 Hz (14 km/h) und 8 Hz (19,2 km/h). Hindernisfrequenzen über 8 Hz beziehungsweise Geschwindigkeiten über 20 km/h sind überkritisch und führen zu keiner Aufschaukelung.

Bei Betrachtung des von HAACK [8] aufgestellten Ersatzschemas (siehe Bild 13) für den menschlichen Körper auf luftbereifter Schlepperhinterachse und gefedertem Sitz erkennt man, daß die Eigenfrequenz der Schlepperreifen etwa 4 Hz, die Eigenfrequenz der belasteten Sitzfederungen etwa 2—4 Hz und die Eigenfrequenz

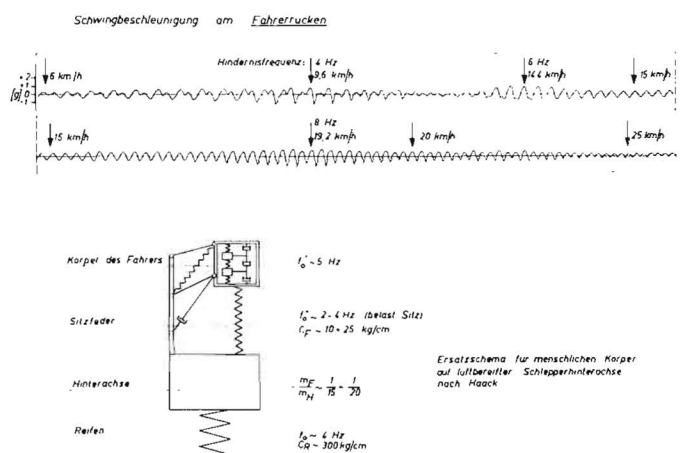


Bild 13: Eigenfrequenz und Resonanzbereich beim Schlepperfahrer

des menschlichen Körpers etwa 5 Hz, im Mittel die Eigenfrequenz des Systemes also ungefähr 4 Hz, beträgt. Es kommt deshalb zu Resonanzerscheinungen bei einer Hindernisfrequenz von 4 Hz, dem Eineinhalbfachen davon, also 6 Hz, und dem Doppelten, 8 Hz, entsprechend den oben genannten Fahrgeschwindigkeitsbereichen. Hier liegt zugleich die ganze Problematik. An der Eigenfrequenz des Menschen läßt sich nichts ändern. Die Eigenfrequenz der Reifen ist nur im Bereich der zulässigen Luftdruckänderungen variabel. Dagegen ist die Sitzfederung und -dämpfung beeinflussbar.

#### Versuchsreihe 4

##### Beschleunigungsübertragung auf den Menschen

Wenn auch durch einen guten Sitz die Schlepperschwingungen vermindert werden können, so interessiert doch auch vom Standpunkt der menschlichen Belastung die Frage, in welchem Maße diese Schwingungen auf bestimmte Bereiche am Körper des Fahrers weiter übertragen werden. Mit Schwingtischen liegen schon Untersuchungen von DIECKMANN [3] und RADKE [10] vor. Zur Klärung des Schwingungsverhaltens des Menschen wurden Versuche an den drei Versuchspersonen (Tafel 1) mit vier verschiedenen Sitzen auf dem Versuchsschlepper angestellt. Dabei wurden die Schwingbeschleunigungen an folgenden Stellen gemessen:

1. Getriebe des Schleppers (über Hinterachse)
2. Sitz (schwingende Konstruktionsteile)
3. Becken (im Bereich der unteren Lendenwirbel)
4. Rücken (zwischen beiden Schulterblättern)
5. Kopf.

Die 500 g schweren Beschleunigungsaufnehmer wurden am Fahrer bei dünnen Bekleidungsstücken mit Hilfe von Gurten an Körperstellen befestigt, bei denen möglichst dünne Gewebeschichten auf dem Knochen liegen. Da drei Beschleunigungsaufnehmer zur Verfügung standen, wurde jeweils zuerst am Getriebe, Sitz und Becken gleichzeitig gemessen, in einem zweiten Versuch unter denselben Bedingungen gleichzeitig am Becken, Rücken und Kopf.

DIECKMANN [3] hatte bereits nachgewiesen, daß im Bereich von 4–5 Hz eine Phasenverschiebung von 90°, das heißt ein Nacheilen der Schulterschwingung gegenüber der Erregungsschwingung auftritt. Solche Phasenverschiebungen, die bei höheren Frequenzen 180° erreichen können, zeigen Resonanzerscheinungen an und beweisen, daß der menschliche Körper ein gedämpftes Masse-Federsystem ist.

Die Ergebnisse der Messungen, deren Tendenz sich bei den einzelnen Fahrergewichten und Sitzen im allgemeinen nicht unterschied<sup>4)</sup>, sind in Bild 14 graphisch festgehalten. Es läßt sich aus den Versuchen folgendes erkennen:

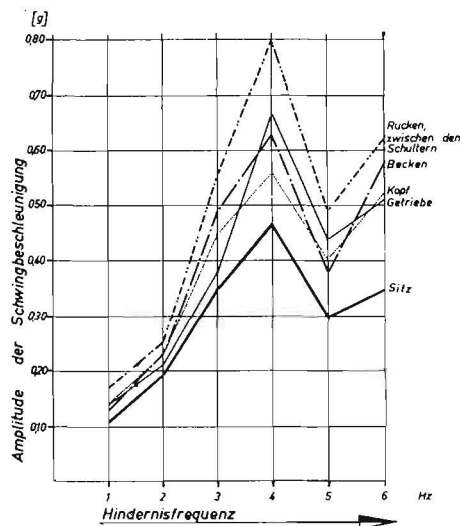


Bild 14: Schwingbeschleunigungen am Schleppergetriebe, am Sitz und an verschiedenen Körperstellen  
Durchschnittswerte von drei Fahrern (50 kg; 69 kg; 100 kg) auf vier verschiedenen Sitzen

1. Die höchsten Beschleunigungswerte wurden an allen Meßstellen bei einer erregenden Frequenz von 4 Hz erreicht. Ein zweites, aber niedriger liegendes Maximum der Kurven ist bei 6 Hz zu erkennen. Diese Resonanzerscheinungen sind auf die Eigenfrequenzen der Reifen, der Sitzfederungen und des menschlichen Körpers zurückzuführen (siehe Bild 13).
2. Gegenüber den am Schleppergetriebe gemessenen Beschleunigungen sind diese am Sitz bei allen Frequenzen niedriger. (Damit ist die konstruktive Aufgabe des Sitzes qualitativ erfüllt. Inwieweit die einzelnen Sitze quantitativ eine ausreichende Schwingungsverminderung bringen, wird bei den Versuchsreihen 8 und 9 sowie beim Kapitel „Physiologisch zumutbare Belastungsgrenze“ besprochen.) Ausnahmen von diesem Ergebnis zeigen völlig ungedämpfte Sitze, bei denen — wie sich in Vorversuchen ergab — die Beschleunigungen am Sitz höher als am Getriebe sein können.
3. Sowohl am Schleppergetriebe als auch teilweise noch am Sitz konnten durch die Meßkurven außer den niederfrequenten Schwingungen noch höherfrequente in der Größenordnung von etwa 50 Hz erkannt werden, die auf die Profile der Hinterradreifen zurückgeführt werden müssen.
4. Vom Sitz bis zum Becken des Fahrers werden die Schwingbeschleunigungen — insbesondere durch Aufschaukelung des Körpers zwischen 4 und 6 Hz — vergrößert. Auch die Arbeiten von RADKE am Vibrationstisch [10] zeigten diese Tendenz. Die hohen Frequenzen werden — offensichtlich durch das Sitzkissen und das Gewebe unter den Sitzbeinhöckern — herausgesiebt und sind fast nicht mehr erkennbar.
5. Bis zum Bereich der Schulterblätter tritt eine weitere Vergrößerung der Beschleunigungsamplituden bei allen Frequenzen (bis 6 Hz) auf.
6. Bis zum Kopf des Fahrers werden die Schwingungen dagegen vermindert, was von DIECKMANN [3] durch die höhere Kopfresonanz (ca. 20 Hz) begründet wird. Am Kopf liegen die Beschleunigungswerte zwischen 3 und 5 Hz wieder etwas unterhalb der am Schleppergetriebe gemessenen Werte. Da bedeutende Frequenzen um 20 Hz im Schlepperbetrieb kaum vorkommen, ist mit höheren Belastungen des Kopfes als den angegebenen nicht zu rechnen. Allerdings ist der Kopf mit den Sinnesorganen besonders schwingungsempfindlich, weshalb ein aufrechtes Sitzen des Schlepperfahrers gefordert werden muß [26].

#### Versuchsreihe 5

##### Einfluß des Reifenluftdruckes

In der Praxis glaubt der Fahrer oft, bei niedrigerem Reifenluftdruck eine geringere Schwingungsbeanspruchung zu empfinden. Man führt das darauf zurück, daß der weichere Reifen die Hindernisse besser „schluckt“. Es sollte daher untersucht werden, ob und in welchem Maße ein verminderter Reifendruck die Größe der Schwingungen verringert.

Die Beeinflussung der Reifeneigenfrequenz durch verschiedenen Reifendruck und folgend durch unterschiedliche statische Reifeneinsenkung hat HAACK [8] theoretisch untersucht. Er kam bereits zu dem Ergebnis, daß das Absenken des Luftdruckes von 2,0 atü auf 0,8 atü im Mittel nur eine Eigenfrequenzänderung von 1 Hz zur Folge hat. Aus diesem Grunde arbeitete er bei seinen Versuchen auch nur mit einer Reifeneigenfrequenz (etwa 4 Hz).

Wir haben in einer Versuchsreihe drei Stufen verschiedener Luftdrücke für Vorderrad- und Hinterradreifen gewählt. Der niedrigste Luftdruck ist für Ackerarbeiten, der höchste für Straßenfahrt vorgesehen. Für die Versuche wurde der Versuchsschlepper mit zwei verschiedenen Sitzen und mit der Versuchsperson (J) auf dem Rollenprüfstand eingesetzt. Die Versuche wurden mit vier Geschwindigkeiten gefahren, die die Resonanzbereiche einschließen (Tafel 3). Die Schwingbeschleunigungen wurden am Schleppergetriebe und am Fahrerrücken gemessen. Die Ergebnisse sind in Bild 15 wiedergegeben.

<sup>4)</sup> Gute und schlechte Sitze zeigten zwar beträchtliche Unterschiede hinsichtlich der Größe der Beschleunigungsübertragung vom Getriebe auf den Menschen. Das Schwingungsverhalten des Menschen, gemessen an den drei Körperstellen, folgte jedoch einer gleichen Tendenz

**Tafel 3: Geschwindigkeitsstufen für die Versuchsreihe 5**

Fahrgeschwindigkeit [km/h] . . . . .	6	9	12	15
Hindernisfrequenz [Hz] . . . . .	2,5	3,8	5,0	6,3

Bei den Messungen am Getriebe (Hinterachse) zeigt sich mit verringertem Luftdruck deutlich eine Verminderung der Schwingbeschleunigung, die zwischen den extremsten Luftdrücken 25% beträgt. Dagegen wirkt sich eine Luftdruckverminderung bis zum Rücken des Fahrers nicht in diesem Maße aus. Bei dem schlechteren Sitz (Fg) konnte im günstigsten Falle (0,8 atü hinten; 1,0 atü vorn) die Schwingbeanspruchung um 9%, bei dem an sich schon guten Sitz (Bh) nur um 6% verringert werden.

Wegen der größeren Tragfähigkeit und der erhöhten Beanspruchung bei größeren Fahrgeschwindigkeiten soll nach den Vorschriften der Reifenfirmen für ausgedehnte Straßentransportarbeiten der höhere Luftdruck (1,5 atü hinten; 2,0 atü vorn) gewählt werden. Bei langsamerer Fahrt auf schlechten Feldwegen kann auch mit mittlerem Luftdruck (1,0 atü hinten; 1,5 atü vorn), ausnahmsweise auch mit dem Ackerluftdruck (0,8 atü hinten; 1,0 atü vorn) gefahren werden. Da durch diese Maßnahme wohl für den Schlepper eine gewisse Verminderung der Schwingbeanspruchung erreicht werden kann, diese jedoch für den Fahrer nur noch geringe Auswirkung hat, erscheint es sinnvoller, den Fahrer durch einen zweckmäßigen Sitz zu entlasten.

*Versuchsreihe 6*

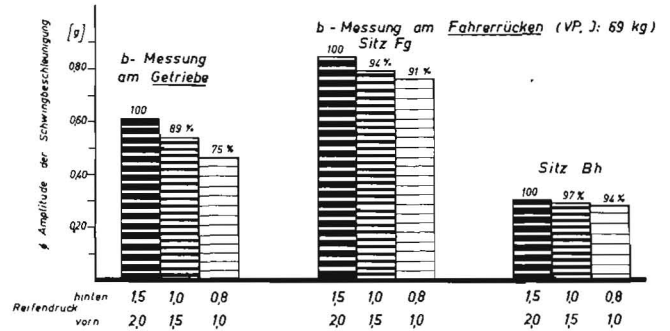
*Einfluß verschiedener Vorderachsfederungen*

Während Hinterachsfederungen bei Ackerschleppern — mit Ausnahme einiger allradgetriebener Fahrzeuge — wegen des erhöhten technischen Aufwandes und wegen der Schwierigkeiten bei der Geräteführung bisher nicht üblich sind, gehören Vorderachsfederungen teilweise zur Zusatzausrüstung oder auch teilweise zur serienmäßigen Ausstattung zahlreicher Schlepper. Da man sich auch hierdurch eine Verminderung der Schwingbeanspruchung verspricht, sind Vorderachsfederungen ein beliebtes Verkaufsargument.

Zur Untersuchung dieser Frage wurden drei Schlepperbauarten — ein 20-PS-Geräteträger, ein 24-PS-Tragschlepper und ein 40-PS-Standardschlepper — mit unterschiedlichen Federungen in einer Versuchsreihe gegenübergestellt, wobei einmal die Vorderachsen frei federn konnten und zum anderen durch Hilfsvorrichtungen starr gemacht wurden. Außerdem konnten Messungen an einem 25-PS-Allradschlepper mit Allradfederung und mit über der Vorderachse liegendem Sitz, jedoch nur in gefedertem Zustand durchgeführt werden. Die Schlepper haben die in Tafel 4 genannten Achsgewichte und Vorderachsfeder-Bauarten.

**Tafel 4: Vorderachsen und Achslasten der Schlepper in der Versuchsreihe 6**

Schleppertyp	Vorderachse	Achslasten	
		Vorderachse [kg]	Hinterachse [kg]
20-PS-Geräteträger mit Doppelholm (Fahrsitz 40 cm vor Hinterachse)	Starrachse mit Einzelrad-Teleskopaufhängung und Schraubenfedern	350	1050
24-PS-Tragschlepper	Pendelachse mit Halbelliptikfederung	594	890
40-PS-Standard-Schlepper	Pendelachse mit Einzelrad-Teleskopaufhängung und Ring-Gummi-Federung	900	1445
25-PS-Allrad-Schlepper mit Ladepritsche (Fahrsitz über Vorderachse)	Einzelradfederung mit Schraubenfedern an Vorder- und Hinterachse	1190	910



**Bild 15: Einfluß des Reifendruckes auf die Schwingbeschleunigung**

Um alle vorkommenden Resonanzgebiete der Hindernisfrequenzen möglichst genau zu erfassen, wurden gegenüber der Versuchsreihe 5 engere Geschwindigkeitsstufen (sieben) gewählt (Tafel 5).

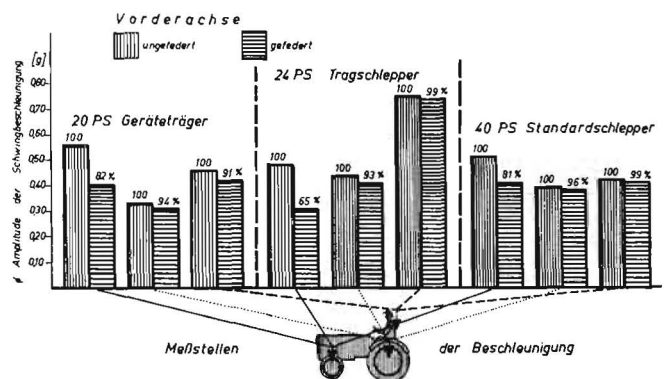
**Tafel 5: Geschwindigkeitsstufen für die Versuchsreihe 6**

Fahrgeschwindigkeit [km/h] . . . . .	3	5	7	9	11	13	15
Hindernisfrequenz [Hz]	1,3	2,1	3,0	3,8	4,7	5,5	6,3

Die Schwingbeschleunigungen wurden in Vorderachsmittle, Hinterachsmittle und am Fahrerrücken gemessen. Die Ergebnisse sind in Bild 16 wiedergegeben.

Es läßt sich erkennen, daß bei allen drei Schleppern und an allen Meßstellen, also sowohl am Fahrzeug als auch am Fahrerrücken, die Vorderachsfederung zu einer Verminderung der durchschnittlichen Beschleunigungsamplituden geführt hat. Nur in Einzelfällen kam es bei bestimmten Frequenzen vor, daß gefederte Vorderachsen geringfügig höhere Beschleunigungen zeigten, was auf Resonanzerscheinungen zurückgeführt werden muß. An den Vorderachsen selbst werden durch die Federung die größten Verminderungen der Schwingungen erreicht, die 18%; 35% und 19% betragen. Die Federung mit Blattfedern erwies sich — wahrscheinlich wegen der Reibungsdämpfung — am günstigsten. Bis zur Hinterachse wird die Wirkung der Vorderachsfederung schon beachtlich geringer, da hier der Einfluß der Schwingungserregung der Hinterradreifen vorherrscht. Dieser Einfluß ist auch für die Belastung des Fahrers maßgebend. Bei Tragschlepper und Standardschlepper konnte die Schwingbeanspruchung des Fahrers nur um 1% vermindert werden, beim Geräteträger dagegen um 9%. Der Grund für das letzte Ergebnis dürfte darin zu suchen sein, daß der Fahrersitz bei diesem Geräteträger 40 cm vor der Hinterachse und vor dem Motor angeordnet ist.

Die Messungen an dem 25-PS-Schlepper mit Allradantrieb und Allradfederung ergaben in gefedertem Zustand im Vergleich zu den anderen Schleppern sehr niedrige durchschnittliche Schwingbeschleunigungen an der Vorderachse (0,24 g) und an der Hinterachse (0,31 g). Der schlecht gefederte und kaum gedämpfte Sitz kompensierte jedoch die günstige Fahrzeugfederung, so daß gegenüber den Schleppern (Bild 16) der Fahrer sogar stärker beansprucht wurde (0,80 g).



**Bild 16: Einfluß der Vorderachsfederung auf die Schwingbeschleunigung**

Versuchsreihe 7

Einfluß der Sitzanordnung

Die genannte Vermutung, daß eine Sitzanordnung vor der Hinterachse schwingungstechnisch günstig ist, wurde bereits von HAACK [8] gestellt. Danach ist als günstigste Lage für den Fahrersitz der Schwingungsknoten des Schleppers anzusehen, der unmittelbar unterhalb des Schwerpunktes liegt. In diesem Falle führen die in der Schwerlinie liegenden Punkte die geringsten

Tafel 6: Einfluß der Sitzanordnung auf die Schwingbeschleunigung am Fahrerrücken

Sitzanordnung	Durchschnittliche Amplitude der Schwingbeschleunigung bei 6; 9; und 15 km/h Versuchsperson (J) [g]
30 cm vor der Hinterachse	0,73
direkt über der Hinterachse	0,78
30 cm hinter der Hinterachse	0,70

Nickschwingungen aus. Eine solche Sitzanordnung ist jedoch bisher bei keinem deutschen Schlepper verwirklicht. Dagegen gibt es — nach ausländischem Vorbild — jetzt auch eine Reihe von Schleppertypen, bei denen der Sitz etwa 30 cm vor der Hinterachse und tiefer als sonst üblich angeordnet ist (sogenannter Reitsitz). Es sollte daher geprüft werden, ob eine solche Sitzlage schwingungstechnisch einen wesentlichen Vorteil bringt. Zum Vergleich wurde der Fahrersitz 30 cm vor, direkt über der Hinterachse und außerdem 30 cm hinter der Hinterachse angeordnet. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe, die mit denselben Fahrgeschwindigkeiten wie bei der Versuchsreihe 5 durchgeführt wurde, sind in Tafel 6 dargestellt.

Danach sind die Sitzanordnungen vor oder hinter der Hinterachse vom Standpunkt der Belastung des Fahrers günstiger als direkt über der Hinterachse. Die Reitsitzanordnung bringt aber nur eine geringe Verminderung der Schwingbeanspruchung. Diesem kleinen

Vorteil stehen andere erhebliche Nachteile gegenüber. Da der Fahrer dichter am Motorblock sitzt, wird sein Sichtfeld eingengt und der Blickwinkel zu den Zwischenachs- und Frontgeräten steiler. Er kann Stellhebel an den Dreipunktgeräten und den Anhängelbolzen nicht mehr oder nur schlecht erreichen. Die Grätschhaltung der Beine ist auf die Dauer ermüdend, und Fußhebel lassen sich arbeitsphysiologisch nur ungünstig anordnen. Gegen Staub, Zugluft und Spritzwasser ist der Fahrer viel schlechter zu schützen. Nicht zuletzt ist es bei einem Unfall auch schwieriger, schnell vom „Reitsitz“ abzusteigen.

Der geringe schwingungstechnische Vorteil kann also gegenüber diesen Nachteilen die Reitsitzanordnung nicht rechtfertigen. Ein wirklich im Schwingungsknoten des Schleppers liegender Sitz mag dagegen eine echte Verminderung der Schwingbeanspruchung für den Fahrer bringen.

Versuchsreihe 8

Vierzehn verschiedene Schleppersitze

Die bisher beschriebenen Versuchsreihen haben leider gezeigt, daß eine Verminderung der Schwingbeanspruchung des Schlepperfahrers durch Vorderachsfederung, Anpassung des Reifendruckes und der Sitzanordnung nur in geringem Maße erreicht werden kann. Dagegen konnte in einigen Fällen bereits der bedeutende Einfluß der Sitzkonstruktion erkannt werden.

Bei den früheren Versuchen von HAACK [8] und den eigenen [26] wurde der Einfluß unterschiedlichen Fahrergewichtes auf die Schwingbeanspruchung nicht untersucht. Es ist aus dem praktischen Fahrbetrieb jedoch gefühlsmäßig bekannt, daß für einen leichten Fahrer der Sitz oft unangenehmer ist als für einen mittleren Gewichtes und daß ein schwerer Fahrer wieder stärker belastet wird, ja manchmal mit dem Sitz aufschlägt.

Daher sollte in dieser Versuchsreihe geklärt werden, wie sich nicht verstellbare Federungen auf verschiedenen schwere Fahrer auswirken und ob durch eine Einstellbarkeit des Sitzes sich für jeden Fahrer optimale Schwingungsverhältnisse schaffen lassen. Darüber hinaus sollten Schleppersitze untersucht werden, die aus

Tafel 7: Sitztypentafel

Sitztyp	federnder Sitzträger				Sitzkissen	Sitzgruppe
	Sitzbewegung	Federung	Gewichtseinstellung	Dämpfung		
Bh	Parallelogramm	progressive Schraubenfeder	in 4 Stufen durch Rasten	Hydraulischer Zylinder	Schaumgummi	I
Ha	Parallelogramm	Schraubenfeder	stufenlos mit Schraubenschl.	Hydraulischer Zylinder	Schaumgummi	
Bg	Parallelogramm	Gummidruckfeder	in 4 Stufen durch Rasten	Gummidruckfeder	Schaumgummi	
Eh	Parallelogramm	Schraubenfeder	—	Hydraulischer Zylinder	Schaumgummi	II
Bf	Parallelogramm	progressive Schraubenfeder	—	Hydraulischer Zylinder	Schaumgummi	
E1	Parallelogramm	Verschiebegummi	—	Verschiebegummi	Schaumgummi	
Ei	Parallelogramm	Schraubenfeder	—	—	Schaumgummi	
Gs	Schwingsitz (Nickbewegung)	Gummischnur	—	—	gummischnurverspanntes Polsterkissen	III
Gg	—	—	—	—	gummischnurverspanntes Polsterkissen	
Fg	—	—	—	—	gummischnurverspanntes Polsterkissen	
Fe	—	—	—	—	Sitzschale mit 14 cm starkem Schaumkissen	IV
B1	Schwingsitz (Nickbewegung)	Blattfeder	—	—	Schaumgummi	V
Ba	Schwingsitz (Nickbewegung)	Gummiverdrehfeder	—	Gummiverdrehfeder	Schaumgummi	
Bo	Parallelogramm	Gummiverdrehfeder	stufenlos durch Handspindel	Hydraulischer Zylinder	Polsterkissen	



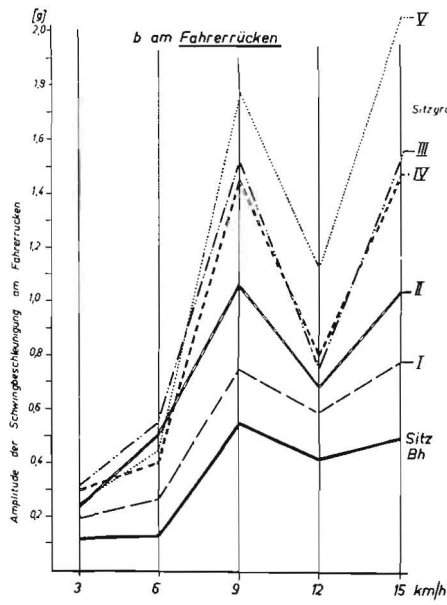


Bild 17: Sitztypen-Fahrerbeanspruchung  
Versuchsperson (P; 50 kg)

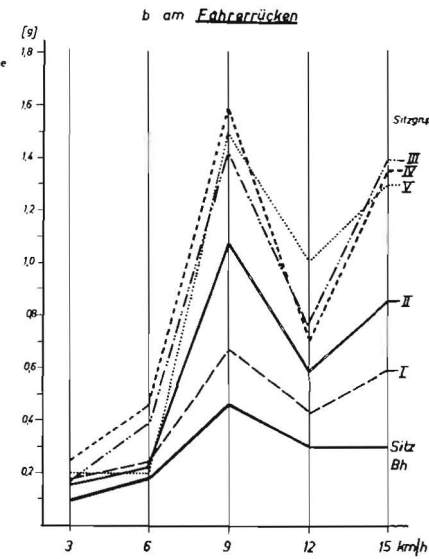


Bild 18: Sitztypen-Fahrerbeanspruchung  
Versuchsperson (J; 69 kg)

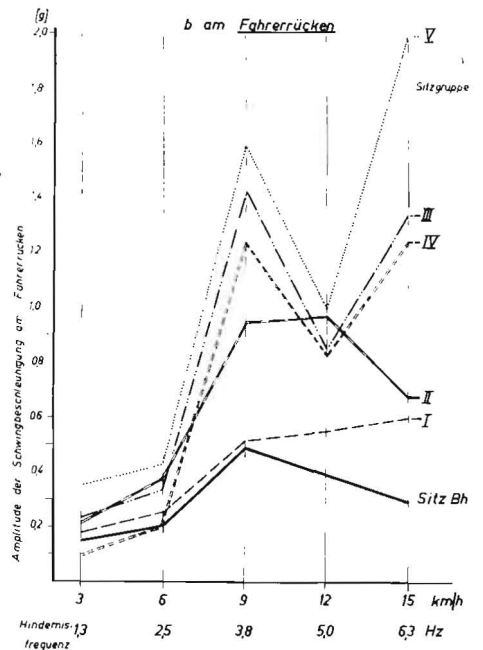


Bild 19: Sitztypen-Fahrerbeanspruchung  
Versuchsperson (H; 100 kg)

preislichen Gründen auf einen gefederten Sitzträger überhaupt verzichten und statt dessen nur eine Gummischnurverspannung oder sogar nur ein Polsterkissen haben, da solche Sitze in zunehmendem Maße auf den Markt kommen.

Für diese Versuche wurde der Versuchsschlepper mit einer Montageplatte ausgerüstet, die den Anbau aller Sitze an derselben Stelle zuließ. Alle Versuche wurden mit den drei Versuchspersonen (Tafel 1) gefahren. Die Geschwindigkeit beziehungsweise Hindernisfrequenz wurde in den Stufen nach Tafel 3 eingestellt. Zusätzlich wurde noch bei 3 km/h = 1,3 Hz gefahren. Die bei 3 km/h erhaltenen Werte wurden jedoch für die Mittelwertbildung nicht herangezogen, da die auftretenden Beschleunigungen sehr gering sind und diese Fahrgeschwindigkeit bei Feldwegfahrt kaum vorkommt.

Es wurden vierzehn verschiedene Sitztypen miteinander verglichen, die zum Teil vorhanden waren, zum größeren Teil aber von den Herstellerfirmen zur Verfügung gestellt wurden (Tafel 7).

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe mit den vierzehn Sitzen, mit teilweise je vier Federstufen, mit drei Fahrgewichten und mit jeweils fünf Geschwindigkeitsstufen lassen sich nicht in einer Darstellung oder Tabelle aufzeigen. Daher wurden, soweit möglich, Sitze ähnlicher Bauart zu Gruppen zusammengefaßt — diese sind in Tafel 7 angegeben — und die Mittelwerte jeder Gruppe in den Bildern 17, 18, und 19 für jeweils verschiedene Fahrgewichte über der Fahrgeschwindigkeit dargestellt. Hierbei wurde von der Sitzgruppe I der beste Sitz (Bh) zum Vergleich noch einmal gesondert mit seinen Werten wiedergegeben. Der Einfluß verschieden schwerer Fahrer wird am Beispiel des Sitzes (Bh) im Bild 20 gezeigt. Für alle Sitztypen wird in Bild 21 der zeitlich gemittelte Wert der Amplituden der Schwingbeschleunigung am Fahrersitz dargestellt, der die drei Fahrgewichte einschließt und daher als Maß für die Qualität der Sitze gelten kann.

Aus den Versuchsergebnissen können folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

Bei den vierzehn Sitzen erreichten von den drei Fahrern verschiedenen Gewichtes der leichte Fahrer (50 kg) neunmal, der schwere Fahrer (100 kg) viermal, der mittlere Fahrer (69 kg) jedoch nur einmal die ungünstigsten Werte. Diese Tatsache kann auch aus dem Vergleich der Bilder 17 bis 19 erkannt werden, da die Kurven der Versuchsperson (J) fast durchweg niedriger liegen als die der anderen Versuchspersonen. Das weist darauf hin, daß die Sitze im allgemeinen für mittlere Gewichte konstruiert sind. Auf der anderen Seite bedeutet es, daß der schwere und insbesondere der leichte Fahrer benachteiligt sind. Das trifft auch noch bei einigen Sitzen (Ha; Bo) mit Verstellbarkeit der Federung zu.

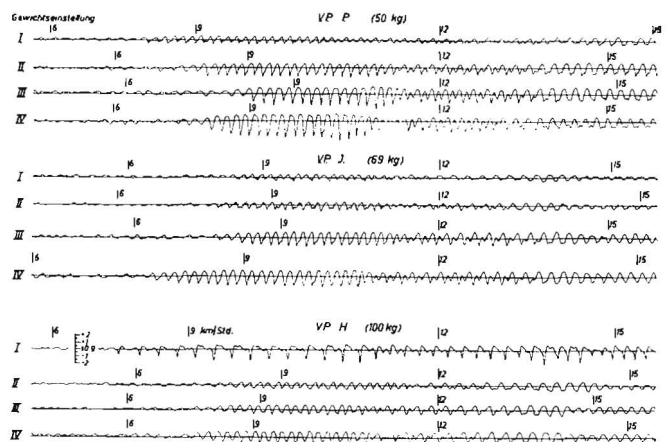


Bild 20: Einfluß der Gewichtseinstellung am Sitz auf die Schwingbeanspruchung verschieden schwerer Fahrer

Der leichte Fahrer, der meist ein Jugendlicher sein wird, ist aber gerade besonders gesundheitsgefährdet, da er sich noch im Wachstumsstadium befindet.

Die Sitze mit Gewichtseinstellung (Sitzgruppe I: Bh, Ha; Bg) erwiesen sich als die besten Sitze. Nur der Sitz (Bo) weicht hiervon ab, vermutlich weil hydraulische Dämpfung und Gummivervorfeder nicht gut aufeinander abgestimmt sind. Alle Sitze ohne Möglichkeit der Gewichtseinstellung haben gegenüber dem besten Sitz (Bh) etwa doppelte bis über dreifache durchschnittliche Schwingbeschleunigungen zur Folge. Von diesen sind noch relativ

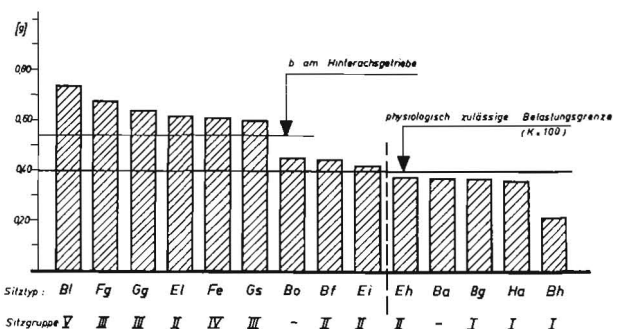


Bild 21: Qualität verschiedener Sitztypen  
Zeitlich gemittelte Werte der Amplituden der Schwingbeschleunigung am Fahrersitz;  
Durchschnittswerte von drei Versuchspersonen (50 kg; 69 kg; 100 kg)

Tafel 8: Sitztypentafel (Weinbergsschlepper)

Sitztyp	Schlepper [PS]	federnder Sitzträger				Sitzkissen
		Sitzbewegung	Federung	Gewichtseinstellung	Dämpfung	
(I)	25	Parallelogramm	Gummiverdrehfeder	ohne	Gummiverdrehfeder	Schaumgummi
(G)	20	Schwingsitz (Nickbewegung)	Schraubenfeder	ohne	hydraulischer Zylinder	Schaumgummi
(D)	14	Parallelogramm	Verschiebegummi	ohne	Verschiebegummi	Schaumgummi
(B)	12	Schwingsitz (Nickbewegung)	Gummidruckfeder	ohne	Gummidruckfeder	Schaumgummi
(F)	18	Parallelogramm	Gummidruckfeder	ohne	Gummidruckfeder	Schaumgummi
(L)	38	Schwingsitz (Nickbewegung)	Blattfeder	ohne	—	Schaumgummi
(E)	14	—	—	ohne	—	Polsterbank
(J)	28	—	—	ohne	—	Polsterbank
(H)	24	—	—	ohne	—	nur Gummisitzschale

günstig die Sitze (Eh; Ei) wegen der langen Feder (aber große Sitzbauhöhe!) und der Sitz (Bf) wegen der Progressivität der Federung und guter hydraulischer Dämpfung. Die Schwingbeschleunigungen sind aber hier noch ungefähr doppelt so groß wie bei dem besten Sitz (Bh).

Dieser Sitz (Bh) mit progressiver Schraubenfeder und hydraulischer Dämpfung liegt eindeutig an der Spitze. Dieses zeigen auch die Kurven des Bildes 20 mit allen Sitzeinstellungen für jeden Fahrer. Danach treten bei den Versuchspersonen (P; J) die geringsten Schwingbeschleunigungen in der weichsten Stufe (I), bei der Versuchsperson (H) in der Stufe II auf. Die härteren Stufen III und IV werden gar nicht mehr ausgenutzt, beziehungsweise würden für einen über 100 kg schweren Fahrer angemessen sein. Man möchte daher annehmen, daß der leichteste Fahrer in einer noch weicheren Stellung noch weniger belastet würde. Eine solche Stellung wurde jedoch bewußt in der Konstruktion nicht vorgesehen, damit bei stärkeren Fahrbahnstößen, wie sie in der Praxis vorkommen können, der Sitz nicht aufschlägt.

Versuchsreihe 9

Sitze bei neun verschiedenen Weinbergsschleppern

Im Rahmen einer Untersuchung von Weinbergsschleppern sollte auch die Qualität der Sitze untersucht werden. Dazu wurden die Schlepper jeweils mit den serienmäßig gelieferten Sitzen nach Tafel 8 auf den Prüfstand gestellt und unter den gleichen Bedingungen wie in Versuchsreihe 8 durchgemessen.

Die Ergebnisse sind zusammengefaßt in Bild 22 dargestellt. Hieraus läßt sich erkennen, daß diese Sitze auf den Weinbergsschleppern im Vergleich zu den Sitzen in Versuchsreihe 8 im allgemeinen noch größere Beschleunigungen übertragen. Wahrscheinlich muß die engere Schlepperspur (600—890 mm) dafür verantwortlich gemacht werden, da bei gleicher Hindernishöhe (Einzelhindernis) der Getriebelock eines schmalen Schleppers stärker angehoben wird als der eines Normalpurschleppers. Sollte das der Fall sein, so müßte um so größerer Wert darauf gelegt werden, diese Schlepper mit besseren Sitzen auszurüsten. Nur der Sitztyp (I) mit Parallelogrammsitzträger und Gummiverdrehfeder ist gut. Allerdings würde auch er — wie die anderen Sitze in noch stärkerem Maße — die Belastung des Fahrers noch

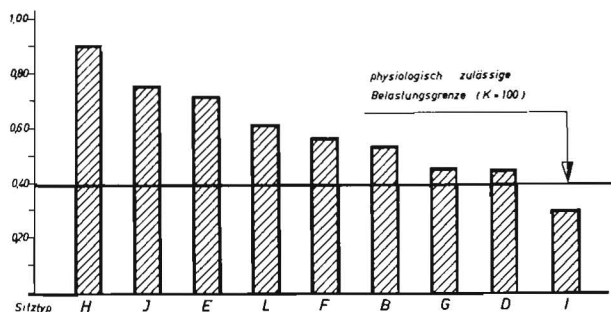


Bild 22: Qualität verschiedener Sitztypen auf Weinbergsschleppern  
Zeitlich gemittelte Werte der Amplituden der Schwingbeschleunigung am Fahrersitz; Durchschnittswerte von drei Versuchspersonen (50 kg; 69 kg; 100 kg)

besser vermindern können, wenn eine Einstellbarkeit für verschiedene Fahrgewichte vorhanden wäre.

Versuchsreihe 10

Schwingbelastung auf Beifahrersitzen

Für Beifahrersitze werden bei Schleppern im allgemeinen keine federnden Sitzträger verwendet. Sie bestehen meist aus nur einer Bank, die auf dem Kotflügel oder — neuerdings — zwischen den Kotflügeln montiert ist. Oft muß der Beifahrer direkt auf dem Kotflügel sitzen. Die Schwingbelastung wird subjektiv als sehr belastend empfunden.

An einem 40-PS-Schlepper wurden am Kotflügelsitz, an einem 25-PS-Schlepper am Kotflügelsitz und an der Sitzbank zwischen den Kotflügeln Beschleunigungen des Beifahrers gemessen. In jedem Falle saß der Fahrer auf einem Schaumgummikissen. Die Versuchsbedingungen waren dieselben wie bei Versuchsreihe 9 und 10. Es wurden die in Tafel 9 angegebenen Werte gemessen.

Tafel 9: Schwingbeschleunigungen an Beifahrersitzen

Schlepperleistung [PS]	Beifahrersitz	Durchschnittliche Amplitude der Schwingbeschleunigung am Sitz bei 6—15 km/h [g]
40	Kotflügel mit Schaumgummikissen	0,66
25	Kotflügel mit Schaumgummikissen	0,43
	Sitzbank zwischen Kotflügeln mit Schaumgummikissen	0,52

Die gemessenen Beschleunigungen liegen mit ihren Durchschnittswerten in derselben Größenordnung wie die Schwingungen bei unzureichenden Fahrersitzen, werden aber von sehr schlechten Sitzen noch übertroffen.

Physiologisch zumutbare Belastungsgrenze

Bei allen Ergebnissen entsteht sofort die Frage, welche Schwingbeanspruchung für den Menschen vom Standpunkt der Bequemlichkeit und der Gesundheit noch zulässig ist. Soweit diese Frage mögliche Gesundheitsschädigungen betrifft, ist sie heute noch kaum zu beantworten, weil man für diesen Zweck Versuche bis zum Eintreten von Dauerschädigungen am Menschen durchführen müßte. Bekannt ist die Grenze der Wahrnehmbarkeit von Schwingungen. Zwischen diesem Schwellenwert und der Grenze der Gesundheitsschädigung muß der Bereich der zumutbaren Schwingungsbelastung liegen. Die Richtlinien des VDI [23], die von Schwingungsfachleuten und Medizinern ausgearbeitet sind, halten im Frequenzbereich bis zu 5 Hz eine Beschleunigung von 0,012 g (Belastungsmaß  $K = 3$ ) noch für längere Zeit erträglich.

Nach einem neuen, noch unveröffentlichten Entwurf soll diese Belastung für Schwingungen in Gebäuden gelten. Für Kraftfahrzeuge im allgemeinen ist dagegen eine Belastungsgrenze  $K = 30$  (0,12 g) und für Schlepper im besonderen eine Belastungsgrenze von  $K = 100$  (0,4 g) vorgesehen. Da im Kraftfahrzeug stärkere und schwächere Schwingungen auftreten, sollen die genannten Beschleunigungen zeitlich gemittelte Werte sein.

Die Belastungsgrenze des Schlepperfahrers mit zeitlich gemittelten Beschleunigungswerten von 0,4 g ist als eine zumutbare äußerste Grenze anzusehen, wobei unterstellt wird, daß stundenlanges Fahren auf sehr schlechten Feldwegen nur selten vorkommt. Nach anderen Autoren (JANEWAY und GOLDMAN nach [10]) liegen diese Beschleunigungen bereits an der Grenze von "intolerable" und "extremely uncomfortable", wobei allerdings nichts über die Dauer der Einwirkung gesagt wird.

Bei unseren Arbeiten ist mit einer zumutbaren Belastungsgrenze von 0,4 g „zeitlich gemittelter Amplitude der Schwingbeschleunigung“ gerechnet worden, weil diese Grenze vermutlich auch den neu erscheinenden VDI-Richtlinien zugrunde gelegt werden wird. Da diese Beschleunigungen nach den Richtlinien auf „den Ort der Einwirkung auf den Menschen bezogen“ werden, muß beim Schlepper die Beschleunigung am Sitz als Bezugsmaß gelten. Im Mittel aller untersuchten Frequenzen betrug die Schwingbeschleunigung am Sitz 60% der Beschleunigung am Fahrerücken. Sofern die Messung am Rücken erfolgte, dürfen daher nur 60% dieses Wertes als Sitzbeschleunigung gelten und mit der Belastungsgrenze von 0,4 g verglichen werden.

So wurde bei den Bildern 21 und 22 verfahren. Aus diesen Darstellungen ergibt sich, daß einige Sitze unter der Belastungsgrenze liegen, bei der größeren Zahl von Schleppersitzen die Beanspruchung des Fahrers jedoch leider die zumutbare Grenze überschreitet.

#### Filmaufnahmen der Wirbelsäulenbewegungen

Für die menschliche Beanspruchung durch Schwingungen sind nicht nur die Beschleunigungen und die auf den Fahrer einwirkenden Kräfte, sondern ebenfalls die durch die Schwingungen erzwungenen Körperbewegungen, insbesondere die Wirbelsäulenbewegungen entscheidend.

Zur Erfassung dieser Bewegung der Wirbelsäule wurden in Zusammenarbeit mit W. CHRIST an einem Fahrer auf dem Versuchsschlepper auf dem Rollenprüfstand Filmaufnahmen gemacht. Becken und Wirbelsäule des Fahrers wurden auf der Haut durch reflektierende Farbpunkte markiert und während des Versuches von einem Scheinwerfer angestrahlt. Die Markierung erfolgte in der Weise, daß die Wirbelsäulenbewegungen nicht nur von hinten, sondern gleichzeitig über einen Spiegel auch von der Seite im Film festgehalten werden konnten (Bild 23). Ein feststehendes Netzgitter erleichterte die Auswertung des Filmes.

Von der Filmauswertung sind die Wirbelsäulenbewegungen, aus zwei Richtungen gesehen, bei zwei verschiedenen Sitzen in Bild 24 dargestellt, die als typisch gelten können. Es kann erkannt werden, daß das Becken in stärkerem Maße seitliche und Vor- und Rückwärtsbewegungen ausführt, als das beim Kopf noch der Fall ist. Beim Sitz (Fg) zeigt sich deutlich eine Bewegung in Form einer 8, entsprechend der gewählten Hindernisfolge (Bild 4). Solche Bewegungen sind beim Sitz (Bh) aber kaum mehr erkennbar, da dieser Sitz die von den Hindernissen verursachten Stöße gut abfängt. Dieser Sitz zeigt im ganzen eine viel ausgeglichene Bewegung der gesamten Wirbelsäule. Es kann somit bewiesen werden, daß nicht nur die Beschleunigungskräfte, sondern auch die Art und der Umfang der Wirbelsäulenbewegungen weitgehend von der Qualität des Sitzes abhängen.

#### Konstruktive Folgerungen für die zweckmäßige Sitzgestaltung

Aus den Ergebnissen der Versuchsreihen 8 und 9 und aus den Filmaufnahmen der Wirbelsäulenbewegungen können folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Schaumgummikissen, gummischnurverspannte Sitzkissen, Blattfedern oder Verschiebegummi genügen als alleinige Sitzfederelemente nicht, um die Beanspruchung des Fahrers innerhalb der physiologisch zulässigen Grenze zu halten.

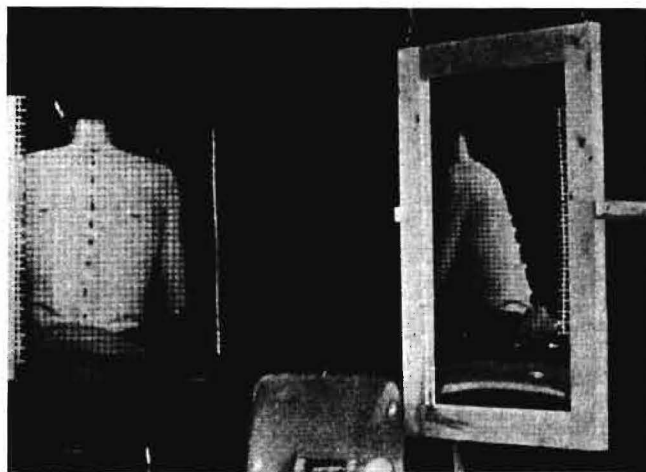


Bild 23: Ausschnitt aus den Filmaufnahmen von den Wirbelsäulenbewegungen

2. Es sollten gefederte Sitzträger verwendet werden, die durch Verstellbarkeit der Federung oder der Hebelübersetzung eine Anpassung an verschiedene Fahrergewichte ermöglichen.
3. Diese Verstellbarkeit muß im richtigen Bereich liegen, das heißt für einen 50 kg und einen 100 kg schweren Fahrer wenigstens annähernd so günstig wirken wie für einen mittelschweren Fahrer (70 kg).
4. Die Verstellbarkeit soll durch einen Handgriff in drei bis vier Stufen möglich sein, wobei eine Markierung der entsprechenden Fahrergewichte für eine richtige Einstellung nützlich ist. Schraubverstellungen sind umständlich zu handhaben und werden auch ohne Schlüssel in der Praxis nicht vorgenommen.
5. Dämpfung, Federung und Gewichtseinstellung sind konstruktiv richtig aufeinander abzustimmen.

#### Zusammenfassung

Ein Rollenprüfstand, auf den Schlepper und Landmaschinen mit verschiedenem Achsstand und Spurweite gestellt werden können, wurde gebaut, um Schwingungen zu erzeugen, wie sie von der Fahrbahn hervorgerufen werden. Dieser Prüfstand gestattet ein Gleichhalten aller Versuchsbedingungen, so daß der Einfluß aller einzelnen Faktoren untersucht werden konnte. Nach Vergleichsversuchen bei Feldwegfahrt und Prüfstandfahrt wurden vor allem folgende Einflüsse untersucht: Fahrgeschwindigkeit, Hindernisfrequenz, Reifenluftdruck, Vorderachsfederungen, Sitzanordnung, Konstruktion von Fahrer- und Beifahrersitzen. Schwingbeschleunigungen, Schwingwege und Kräfte wurden auf elektronischem Wege gemessen, Bewegungen der Wirbelsäule des Fahrers durch Filmaufnahmen erfaßt.

Wenn auch Schlüsse für die Beanspruchung des Schleppers gezogen werden können, so war es in erster Linie Aufgabe dieser Untersuchung, die Schwingbelastung des Fahrers zu erfassen. Es konnte ermittelt werden, wie sich die Schwingungen vom Getriebe über den Sitz auf verschiedene Stellen am Körper des Fahrers übertragen und in welchem Maße verschieden schwere Fahrer

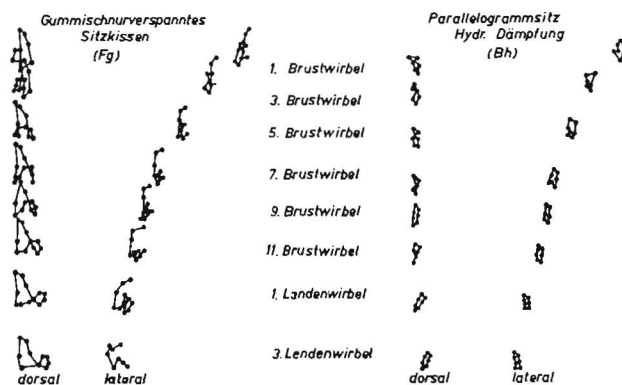


Bild 24: Bewegungen der Wirbelsäule des Schlepperfahrers



beansprucht werden. Der Vergleich mit der physiologisch zumutbaren Belastungsgrenze ergab, daß neben einigen guten Sitzen eine große Zahl von serienmäßigen Schleppersitzen den gestellten Anforderungen nicht genügt, so daß mit der Möglichkeit von Gesundheitsschädigungen gerechnet werden muß. Aus den Versuchsreihen mit verschiedenen Sitzen ergaben sich einige konstruktive Forderungen, die insbesondere die Anpassung der Sitzfederung an das Fahrgewicht betreffen.

## Schrifttum

- [1] CIBRIAN, S.: Schwingungsmessungen an Ackerschleppern. Landtechnische Forschung 8 (1958), S. 49—53
- [2] CIBRIAN, S.: Die Schwingungen an Bedienteilen landwirtschaftlicher Schlepper. In: Kongress III./IV. Sektion der Commission Internationale du Génie Rural. Bad Kreuznach, Braunschweig 1957. S. 156—158 (Veröffentlichung vom Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft, Frankfurt)
- [3] DIECKMANN, D.: Einfluß vertikaler mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschl. Arbeitsphysiologie 16 (1957), S. 519—564
- [4] SCHMITZ, M. A.: The effect of low frequency, high amplitude whole body vertical vibration on human performance. Bostrom Research Laboratories, supported and Contract No. DA-49-007-MD-797 by Res. and Devel. Div. Office of the Surgeon General Dept. of the US Army, Washington 25 D.C.
- [5] MÜLLER, E. A.: Die Wirkung sinusförmiger Vertikalschwingungen auf den sitzenden und stehenden Menschen. Arbeitsphysiologie 10 (1939), S. 459 bis 476
- [6] SIMONS, A. K.: Tractor Ride Research. (SAE-Paper) New York 1951
- [7] VKBL 1959: Richtlinien für die Gestaltung und Ausrüstung der Führerhäuser von Kraftwagen, Zugmaschinen und Arbeitsmaschinen vom 2. Juli 1959, S. 312
- [8] HAACK, M.: Über die günstigste Gestaltung der Schleppersitzfederung bei luftbereiften Ackerschleppern mit starrer Hinterachse. Landtechnische Forschung 3 (1953), S. 1—13
- [9] ISENDAHL, H.: Schwingungsmessungen an Schleppersitzen. VDI-Berichte 25 (1957), S. 43—47
- [10] RADKE, A. O.: Vehicle Vibration ...Man's New Environment. Verhandlungen des V. Internationalen Kongresses für Technik in der Landwirtschaft (CIGR) Brüssel 1958
- [11] COERMANN, R.: Untersuchungen über die Einwirkung von Schwingungen auf den menschlichen Organismus. Dissertation, Berlin 1939.
- [12] REIHER, H., und F. J. MEISTER: Die Empfindlichkeit des Menschen gegen Erschütterungen. Forschung auf dem Gebiet der Ingenieur-Wissenschaften 2 (1931), S. 381
- [13] ZELLER, W.: Die Wirkung von mechanischen Bewegungen auf den menschlichen Organismus. Dissertation, Braunschweig 1932
- [14] BÉKÉSY, G. v.: Über die Empfindlichkeit des stehenden und sitzenden Menschen gegenüber sinusförmigen Erschütterungen. Akustische Zeitung 4 (1939)
- [15] JANEWAY, R. N.: Ride and Vibration Data. (SAE Publication 1950)
- [16] MCFARLAND, R. A.: Human factors in Air Transportation. New York, Toronto, London 1953
- [17] ZELLER, W.: Maßeinheiten für Schwingungsstärke und Schwingungsempfindungsstärke. Automobiltechnische Zeitung 51 (1949), S. 95
- [18] KUHN, F., und H. SCHEFFLER: Über die beim Gebrauch von Druckluft-Schlagwerkzeugen auf die Hand einwirkenden Kräfte. Arbeitsphysiologie 15 (1954), S. 277
- [19] HAACK, M.: Über die Beanspruchung des Menschen durch Erschütterungen auf Schleppern und Landmaschinen. In: 11. Konstrukteurlehre. Düsseldorf, VDI-Verlag 1953 (Grundlagen der Landtechnik, H. 4), S. 110—115
- [20] DIECKMANN, D.: Mechanische Modelle für den vertikal schwingenden menschlichen Körper. Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschl. Arbeitsphysiologie 17 (1958), S. 67—82
- [21] DIECKMANN, D.: Einfluß horizontaler mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschl. Arbeitsphysiologie 17 (1958), S. 83—100
- [22] DIECKMANN, D.: Ein mechanisches Modell für das schwingungsangeregte Hand-Arm-System des Menschen. Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschl. Arbeitsphysiologie 17 (1958), S. 125—132
- [23] VDI-Richtlinien: Beurteilungsmaßstab für die Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den stehenden und sitzenden Menschen. VDI 2057 (Entwurf) Juli 1958
- [24] DUPUIS, H.: Can a tractor fit the driver? Span (Shell Public Health and Agricultural News) 3 (1960), S. 85—88
- [25] DUPUIS, H.: Effect of tractor operation on Human stresses. Agricultural Engineering 40 (1959), S. 510—525
- [26] DUPUIS, H., R. PREUSCHEN und B. SCHULTE: Zweckmäßige Gestaltung des Schlepperführerstandes. (Landarbeit und Technik, H. 20) Bad Kreuznach 1955
- [27] DUPUIS, H.: Über die Anpassung der Landmaschinen an den Menschen und ihre Berücksichtigung im Landmaschinenprüfungswesen. In: Kongress III./IV. Sektion der Commission Internationale du Génie Rural. Braunschweig, Bad Kreuznach 1957. S. 102—107 (Veröffentlichung vom Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft, Frankfurt)
- [28] DUPUIS, H.: Some standards for the design of the tractor driver's work place. Paper presented at the 1958 Annual Meeting of American Society of Agricultural Engineering. June 22—25, 1958, Santa Barbara/Calif./USA
- [29] ROSEGGER, R.: Das harmonische Zusammenwirken von Fahrer und Schlepper. (Tagungsberichte der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, Nr. 19) Berlin 1959
- [30] CHRIST, W.: Mensch und Landarbeit. Der Landarzt 36 (1960), S. 817—823
- [31] CHRIST, W.: Die funktionelle Beanspruchung der Wirbelsäule bei der Benutzung von Ackerschleppern. Referat auf dem 48. Kongreß der Deutschen Orthopädischen Gesellschaft, Berlin, Oktober 1960 (noch nicht veröffentlicht)
- [32] DUPUIS, H.: Schlepperschwingungen, am Menschen gemessen. Die Landarbeit 10 (1959), S. 49—53
- [33] DIN 1311 Blatt 1: Schwingungslehre (Benennungen). Berlin 1939

## Résumé

Heinrich Dupuis: "The Investigation of Vibrations in Tractors on Test Stands."

A roller test stand for testing tractors and other agricultural machinery having various wheelbases and track gauges was built. Vibrations

similar to those encountered under actual running conditions could be generated on this stand and the influence of all individual factors could be investigated under similar test conditions. The following factors were subjected to special investigation under actual running and under test stand conditions: — Speed, frequency of obstacles, tyre pressures, springing of front wheels, arrangement and design of seats for drivers and their mates. Vibrations, accelerations and forces were measured electronically, whilst movements of the driver's spine were recorded by a film camera.

Although conclusions relative to the forces acting upon the tractor could be drawn, the primary object of the tests was to ascertain the effect of the vibrations upon the driver. It was possible to trace how vibrations from the mechanism were transferred through the seat to various parts of the driver's body and to what extent drivers of varying weights were affected. A comparison with the assumed psychological limits of endurance showed that the great majority of the seats on mass-produced tractors did not meet the requirements and that the possibility of adverse effects on the health of the drivers had to be reckoned with. A consideration of the results of tests made with various types of seats brought to light some possibilities of changes in design, in particular, the adjustment of the seat springing to the driver's weight.

Heinrich Dupuis: «Les recherches sur les vibrations dans les tracteurs agricoles entreprises au moyen d'un banc d'essai à rouleaux.»

Un banc d'essai à rouleaux sur lequel peuvent être installés le tracteur et la machine agricole, a été construit afin de produire des vibrations analogues à celles occasionnées par le sol. Ce banc d'essai permet de reproduire toujours fidèlement toutes les conditions d'essai de sorte que l'on peut examiner l'influence des différents facteurs essentiels. Après avoir effectué des essais de comparaison dans les champs et au moyen du banc d'essai, on a contrôlé à l'aide de procédés électroniques l'influence des facteurs suivants: Vitesse de marche, fréquence des obstacles, pression des pneumatiques, suspension de l'essieu avant, disposition du siège, construction des sièges du conducteur et de son aide, accélérations des vibrations, trajet de transmission des vibrations et forces. On a en outre pris des film des mouvements de la colonne vertébrale du conducteur.

Bien que ces recherches aient permis d'en tirer des conclusions sur les efforts imposés aux tracteurs, leur but principal a été de déterminer la fatigue du conducteur occasionnée par les vibrations. On a pu étudier comment les vibrations se transmettent, par l'intermédiaire du siège, de la boîte de vitesses aux différents points du corps du conducteur et l'influence que joue le poids du conducteur. Une comparaison avec la limite physiologique des efforts admise a montré qu'exception faite de quelques sièges bien conçus, un grand nombre des sièges fabriqués en série ne répondent pas aux exigences posées, de sorte qu'il faut s'attendre à ce qu'ils soient nuisibles à la santé du conducteur. On a pu déduire des séries d'essais avec les différents sièges certaines notions constructives qui concernent en particulier l'adaptation de la suspension du siège au poids du conducteur.

Heinrich Dupuis: «Examen de las oscilaciones producidas en un tractor en un banco de ensayos a rodillos.»

Se ha construido un banco de ensayos a rodillos, en el que pueden colocarse tractores y máquinas agrícolas, para producir en ellos oscilaciones iguales a las producidas por la calzada. Este banco permite que todas las condiciones de los ensayos queden sin variar, de forma que puedan examinarse uno por uno todos los factores. Habiéndose hecho ensayos comparativos recorridos por vías rurales y en el banco, se han podido examinar las influencias siguientes: velocidad de marcha, frecuencia de obstáculos, presión de los neumáticos, disposición de los asientos y la construcción de los asientos para el conductor y para el acompañante. La aceleración, recorrido y esfuerzos se midieron por procedimientos electrónicos, los movimientos de la espina dorsal del conductor por fotografía cinematográfica.

Si bien pudieron establecerse conclusiones en cuanto a los esfuerzos a que se somete el tractor, el objeto principal de estas investigaciones ha sido el de fijar los esfuerzos a que está sometido el conductor. Ha podido comprobarse la forma de transmisión de las oscilaciones desde el engranaje por el asiento a diferentes puntos del cuerpo del conductor y el valor de las mismas en conductores de peso diferente. La comparación con el límite de carga fisiológicamente tolerable dió por resultado que, al lado de algunos asientos buenos, existe una gran cantidad de asientos de tractor, fabricados en serie, que no cumple las exigencias que se debe poner, de manera que deben considerarse como perjudiciales a la salud. De las series de ensayos efectuados con asientos diferentes han podido deducirse exigencias en cuanto a su construcción que principalmente se refieren al ajuste de los muelles de asiento al peso del conductor.