

*The perhaps most important conclusion was that the vibration intensity of the tractor is more decisive for the amount of the dynamic axle loads than the amount of the static loads. The forces also increase approximately proportional to the vibration intensity felt by the driver. The static calculation method successfully applied in motor vehicle engineering can also contribute to solving these vibration problems.*

*Hans Helmut Coenenberg: «A propos des vibrations `extérieures` des tracteurs agricoles, et en particulier des charges dynamiques sur essieux. II.»*

*Après avoir examiné comment on peut déterminer les forces en question par une technique de mesure simple et suffisamment exacte, on a choisi un tracteur approprié et on l'a équipé convenablement. On a établi et réalisé le programme d'essais en appliquant les principes de la technique des vibrations analysés dans la première partie de l'étude. Les résultats des mesures obtenus en fonction des variations de la piste et des outils portés respectivement des remorques, ont confirmé les suppositions tirées des systèmes vibratoires de remplacement.*

*Les valeurs absolues obtenues ont dû être mis en rapport avec des grandeurs appropriées comme par exemple les charges statiques sur essieux respectivement le poids du tracteur pendant l'essai afin d'obtenir des valeurs significatives qui peuvent être appliquées à d'autres cas. Les expériences tirées de travaux antérieurs ont montré qu'une interprétation simple tenant compte des amplitudes moyennes et maximum des courbes de mesure suffit pour l'établissement d'un premier schéma qui doit être nécessairement encore très général. On a pu en tirer des valeurs collectives de charges sur essieux supportées par les tracteurs pendant des temps prolongés d'utilisation à l'aide d'un tracteur expérimental. La connaissance la plus significative que l'on a pu en déduire est que les charges dynamiques supportées par les essieux sont déterminées plutôt par l'énergie des vibrations que par les charges statiques. Les forces augmentent à peu près proportionnellement à l'énergie des secousses éprouvées par*

*le conducteur. Les procédés de calculs statiques appliqués avec succès dans la technique des véhicules peuvent servir également à la solution de ces problèmes de vibrations.*

*Hans Helmut Coenenberg: «Las oscilaciones `externas` de tractores agrícolas, especialmente las cargas dinámicas sobre los ejes. II.»*

*Después de detenidas consideraciones sobre la manera de fijar las fuerzas que interesan, con procedimientos de medición precisos, si bien sencillos, se eligió un tractor conveniente, equipándose para los ensayos. Se estableció un programa de ensayos que fue ejecutado de acuerdo con los puntos de vista de la técnica de oscilaciones, analizados en la primera parte de los ensayos. Los resultados de estas mediciones al variar la vía de rodadura y cambiando los aperos, resp. vehículos remolcados, confirmaron las suposiciones deducidas de los sistemas oscilatorios de sustitución.*

*Para conseguir valores característicos gráficos aplicables, fue preciso establecer referencias entre los resultados absolutos y valores convenientes, p. e. las cargas estáticas sobre los ejes, resp. el peso del tractor durante los ensayos. De acuerdo con la experiencia adquirida en ensayos anteriores, bastaba para conseguir una orientación primera, aunque forzosamente todavía bastante general, una evaluación simplificada a base de los valores medios y de los máximos de las amplitudes. De éstos fue posible deducir, con la ayuda de un valor figurado, valores colectivos de las cargas sobre los ejes, durante extensiones de tiempo prolongadas de trabajo de los tractores.*

*Una de las deducciones más importantes que pudo sacarse, fue la de que para el valor de las cargas dinámicas sobre los ejes, resulta más importante la vehemencia de las oscilaciones del tractor que las cargas estáticas. Los valores de las fuerzas crecen también en proporción con la vehemencia de las sacudidas que siente el conductor. El empleo de procedimientos estadísticos de cálculo que se emplea con éxito en la técnica de vehículos, puede contribuir también para resolver problemas de oscilación.*

Werner Kiene:

## Zur Prüfung des Sitzkomforts von Ackerschleppern im Rahmen der Technischen Prüfung

*Schlepper-Prüffeld des Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft, Darmstadt*

An das Schlepper-Prüffeld ist wiederholt die Bitte herangetragen worden, die Prüfung des Fahrersitzes in die Technische Prüfung von Ackerschleppern einzubeziehen. Schon in den Jahren 1948 bis 1950 wurde das bei der Ausarbeitung der Regeln für die Technische Prüfung von Ackerschleppern theoretisch realisiert [1]. Das Schlepper-Prüffeld konnte diesen Auftrag bislang aber nicht ausführen, weil es keine Methode für diese Prüfung von Fahrersitzen gab.

Da heute die grundsätzlichen Voraussetzungen weitgehend geklärt zu sein scheinen, muß man sich darüber klar werden, auf welche Art der Fahrersitz der Ackerschlepper im Rahmen der Technischen Prüfung behandelt werden soll. Es muß festgelegt werden, ob der Sitz für sich allein oder aufgebaut auf den Schlepper zu prüfen ist.

Schlepper, Sitz und Fahrer sind ein sehr kompliziertes, gekoppeltes Schwingungsgebilde. Schon HAACK hat hierauf hingewiesen und ein Ersatzschema für Schlepper, Sitz und Fahrer angegeben sowie die Bewegungsgleichungen dafür aufgestellt [2]. HAACK ist dabei allerdings von sehr stark vereinfachten Voraussetzungen ausgegangen. Er mußte Fahrersitz und Fahrer als starres einheitliches Gebilde einführen, weil sonst der für Berechnungen erforderliche Gleichungsumfang ohne elektronische Rechenmaschinen, die damals noch nicht zur Verfügung standen, nicht zu bewältigen war. Die von ihm angegebenen Formeln enthalten den Massenfaktor als Quotienten der beiden gegeneinander schwingenden Massen des Schleppers einerseits und des Fahrers mit dem Sitz andererseits. Außerdem enthalten sie noch das Verhältnis der entsprechenden Eigenkreisfrequenzen, in welchem die Federhärten und noch einmal die Massen vorkommen. Es müssen also bei der Prüfung eines bestimmten Sitzes auf verschiedenen Schleppern und mit verschiedenen Fahrern unterschiedliche Ergebnisse herauskommen.

Im Rahmen einer Schlepperprüfung muß demnach das Schwingensystem Schlepper gegen Mensch plus Sitz immer als Ganzes behandelt werden. Der Sitz darf bei solch einer Prüfung nicht aus diesem Zusammenhang herausgelöst und für sich geprüft werden. Wenn das geschehen sollte, wäre eine DLG-Prüfung des Sitzes richtiger und keine Prüfung im Rahmen der Technischen Prüfung.

Man kann deshalb auch nicht von einer Sitzprüfung im Rahmen der Technischen Prüfung von Ackerschleppern sprechen, sondern nur von einer Prüfung des Sitzkomforts. Auch vom Fahrkomfort darf nicht die Rede sein, weil dies ein umfassenderer Begriff ist. In ihm wirken noch weitere Einflüsse, wie beispielsweise die von Nick- und Wankschwingungen, die von Zentrifugalkräften bei Kurvenfahrten, die des Kraftbedarfs zur Betätigung der verschiedenen Hebel oder die der Sichtverhältnisse. Nicht zuletzt hat auch die Geräuschbelastung des Fahrers Einfluß auf den Fahrkomfort. Über sehr viele dieser Einflüsse auf den Menschen wissen wir leider bis heute noch sehr wenig, so daß nicht abzusehen ist, ob bei Fahrzeugen allgemein und besonders bei Ackerschleppern der Gesamtkomplex des Fahrkomforts irgendwann einmal einem Prüfverfahren unterworfen werden kann.

An der Klärung der Einflüsse von mechanischen Schwingungen auf den Menschen ist in den letzten Jahren an vielen Stellen des In- und Auslandes gearbeitet worden, in Deutschland zum Beispiel an verschiedenen Instituten für Kraftfahrwesen der Technischen Hochschulen, am Max-Planck-Institut für Landarbeit und Landtechnik in Bad Kreuznach, am Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie in Dortmund, an verschiedenen medizinischen Fakultäten, in der Fachgruppe Schwingungstechnik des VDI und nicht zuletzt in den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen großer Schlepper- und Automobilproduzenten. Über diese Untersuchungen und Forschungsarbeiten sind zahlreiche Veröffentlichungen

erschienen; es sei hier nur auf die in der Landtechnischen Forschung, den Grundlagen der Landtechnik und der ATZ erschienenen Artikel verwiesen [2...20]. Weitere Literaturangaben sind bei den zitierten Autoren zu finden. Auch auf Vortragstagungen der Fachgruppe Fahrzeugtechnik (ATG) des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) wurde dieses Thema wiederholt behandelt, so beispielsweise auf der Tagung in Nürnberg im März 1957, die unter dem Thema „Anpassung des Fahrzeugs an den Menschen“ stand, sowie auf der letzten Tagung in Braunschweig im Oktober 1962 „Messen und Rechnen am Kraftfahrzeug“. Darüber hinaus haben sich Vortragstagungen anderer Gesellschaften wie der DLG ebenfalls mit diesem Problem befaßt.

Im folgenden soll nun versucht werden, einen zusammenfassenden Überblick über den gegenwärtigen Stand unseres Wissens auf dem Gebiet der Einwirkung von Fahrzeugschwingungen auf den Menschen und deren Messung zu geben. Weiter soll gezeigt werden, wie nach unserer heutigen Erfahrung eine Prüfmethode des Sitzkomforts zur objektiven Beurteilung der Schwingungen von Fahrersitzen auf Ackerschleppern ausssehen sollte.

### Der Einfluß der Schwingungen auf den Fahrer

Obwohl bislang auf diesem Gebiet schon viel Arbeit geleistet worden ist, stehen wir noch ganz am Anfang unserer Erkenntnisse der Wirkung von Fahrzeugschwingungen auf den Menschen. Lediglich auf dem Gebiet der Einwirkung von vertikalen Schwingungen auf den stehenden oder sitzenden Menschen sind dank der intensiven Forschungsarbeit schon etwas tiefer gehende Erkenntnisse vorhanden. Es fehlt aber vorläufig immer noch ein allgemein und vorbehaltlos anerkannter Maßstab, nach dem die Einwirkung von mechanischen Schwingungen auf den Menschen beurteilt werden kann. Es ist zwar gelungen, im Fachausschuß Schwingungstechnik des VDI eine Bewertungsskala für den Einfluß von Vertikalschwingungen zu vereinbaren (Bild 1). Diese hat jedoch bislang nur vorläufigen Charakter: Die VDI-Richtlinie

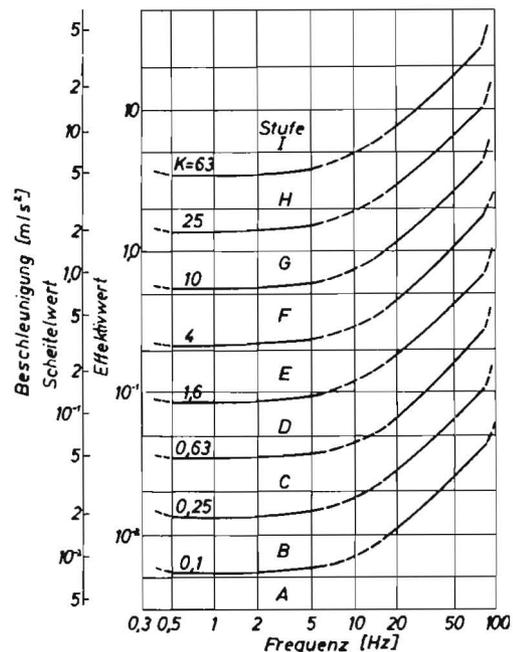


Bild 1: Kurven gleicher K-Werte für Sinus-Schwingungen im Frequenz-Beschleunigungs-Diagramm [2]

Nr. 2057 [21] ist erst als Entwurf veröffentlicht und kann noch keineswegs als endgültig angesehen werden, an eine Vereinbarung dieser Art auf internationaler Basis, etwa im Rahmen der OECD geschweige denn der ISO, ist zu diesem Zeitpunkt noch gar nicht zu denken. Wie weit die Meinungen bei der Beurteilung der Schwingungsempfindung und -erträglichkeit auch heute noch

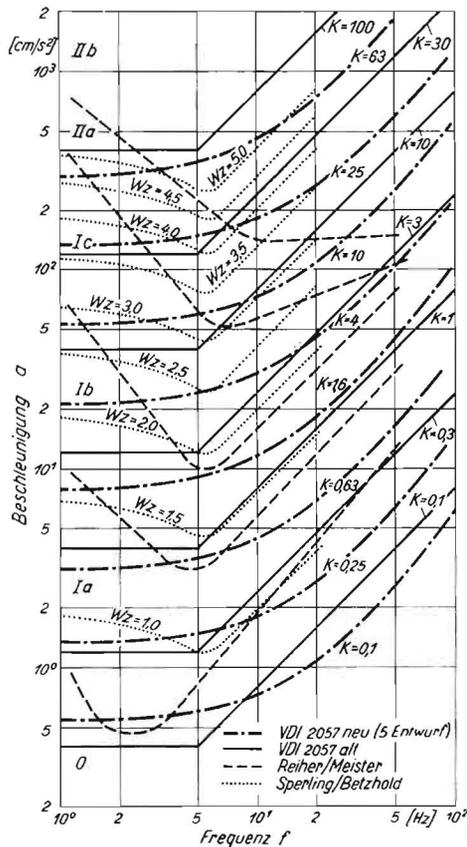
Tafel 1: Schwingungsbewertung [20]

Beschleunigung [cm/s²]	VDI-Richtlinie 2507		SPERLING — BETZHOLD		REIHER — MEISTER	
	K-Faktor	Beurteilung	Gütezah	Beurteilung	Bewertung	Beurteilung
0,2	0,1	Schwellenwert, beginnende Empfindung (1)			0	nicht spürbar
0,5	0,1 bis 0,3	eben spürbar, kaum unangenehm gut erträglich (1)	10	sehr gut		
1					I a	gerade spürbar
2	0,3 bis 1	gut spürbar, bei stundenlanger Einwirkung mäßig unangenehm, erträglich (2)	1,5	fast sehr gut		
5					I b	gut spürbar
10	1 bis 3	stark spürbar, bei stundenlanger Einwirkung recht unangenehm, noch erträglich (3)	2,0	fast gut		
20			2,5		I c	stark spürbar, lästig
50	3 bis 10	unangenehm, bei stundenlanger Einwirkung nicht erträglich, etwa 1 Stunde zumutbar (4)	3,0	befriedigend		
100	10 bis 30	sehr unangenehm, etwa 10 min zumutbar (5)	3,5	noch befriedigend	II a	unangenehm, bei längerer Dauer u. U. schädlich
200			4,0	betriebsfähig		
500	30 bis 100	äußerst unangenehm, etwa 1 min zumutbar (6)	4,5	nicht betriebsfähig		
1000			5,0	betriebsgefährlich	II b	außerordentlich unangenehm, auch bei kurzer Dauer u. U. schädlich

(1) Arbeit nicht behindert  
(2) Arbeit noch nicht behindert

(3) Arbeit behindert, aber möglich  
(4) Arbeit stark behindert, noch möglich

(5) Arbeit kaum möglich  
(6) Arbeit nicht möglich



**Bild 2:** Schwingungsbewertung für Beschleunigungen nach verschiedenen Autoren [20]  
Die hier als fünfter Entwurf bezeichnete Neufassung ist nur eine Arbeitsnummer, sie ist jetzt als „2. Entwurf“ im VDI-Verlag erschienen; siehe auch Bild 1  
Entnommen aus ATZ 64 (1962), S. 74

auseinandergehen, zeigt Bild 2 und Tafel 1. Einigkeit besteht bei den verschiedenen Autoren bis heute nur insoweit, als bei der Schwingungsbewertung außer der Amplitude des Schwingweges auch die Frequenz zu berücksichtigen ist, und zwar insofern, als große Amplituden des Schwingweges vor allem bei niedrigen Frequenzen vorkommen, hohe Frequenzen dagegen nur kleine Weg-Amplituden zur Folge haben. Dementsprechend werden unterschiedliche Sinnesorgane des Menschen bei der Schwingungsempfindung wirksam. Man geht deshalb nicht fehl, wenn man annimmt, daß im Frequenzbereich unter 5 Hz die Schwingungsbeschleunigung und von etwa 15 Hz bis 60 Hz die Schnelle als Maßstab gewählt werden kann. Oberhalb 60 Hz, also etwa ab der Frequenz, bei der die Schwingungen als Töne hörbar werden, ist dann der Schwingweg und als dessen Folge der Schalldruck der Maßstab für die Wirkung auf den Menschen. Zwischen 5 Hz und 15 Hz besteht ein Übergangsbereich, in dem weder die Beschleunigung noch die Schnelle je für sich allein als Maßstab unmittelbar gültig ist. Hier muß noch die Belastung berücksichtigt werden. Dies soll anzeigen, daß hier noch eine gewisse Unsicherheit vorliegt. Einigkeit besteht weiterhin auch darin, daß man bei beiden Frequenzbereichen mit den zur Beurteilung heranzuziehenden Schwingungsgrößen zu je einer Maßzahl für die Empfindungsstärke kommen kann, die als

$$K_1 = \sqrt[3]{\frac{b}{b_0}}$$

und

$$K_2 = \sqrt[3]{\left(\frac{c}{c_0}\right)^2}$$

definiert ist, wobei  $b_0 = 0.8 \text{ m/s}^2$  und  $c_0 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$  die Reizschwelle sind.  $K_1$  ist nicht gleich  $K_2$  im mathematischen Sinne. An den Grenzen der Empfindungsgebiete nach MEISTER [19] ergeben sich aber bei richtiger Wahl des zugehörigen Schwellen-

wertes für  $K_1$  und  $K_2$  nahezu gleiche Werte, so daß man damit eine für beide Frequenzbereiche einheitlich brauchbare Maßzahl gewinnen kann.

Anstelle von  $K$  kann man auch  $K'$  als logarithmisches Pegelmaß

$$K' = 10 \cdot \log \frac{b}{b_0} \quad \text{oder} \quad 10 \cdot \log \left( \frac{c}{c_0} \right)^2$$

setzen, wie dies in der kleinen Tafel in Bild 3 geschehen ist. Damit kann man eine Bewertungsskala aufstellen, die der allgemein bekannten „Phonskala“ aus der Schalltechnik analog ist.

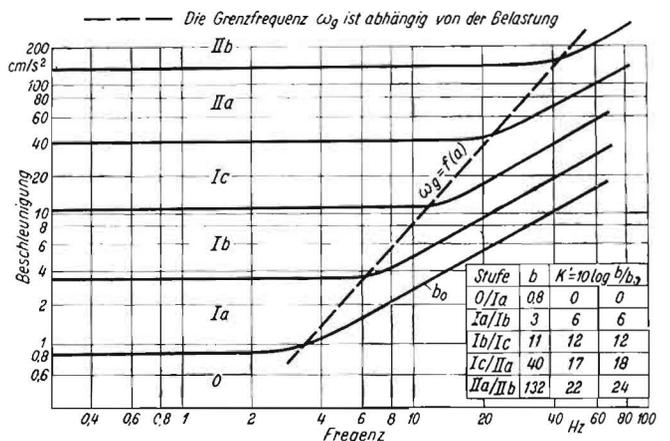
Es muß hier aber nochmals einschränkend darauf hingewiesen werden, daß diese Bewertung nach  $K$ -Faktoren nur für Vertikal-Schwingungen gilt, die auf den stehenden, beziehungsweise sitzenden Menschen wirken. Bei Horizontal-Schwingungen und bei Wank-, Nick-, Gier- oder Rollschwingungen gelten andere Maßstäbe, über die noch sehr wenig bekannt ist.

Obwohl der endgültige Bewertungs-Maßstab noch fehlt, ist es denkbar, daß mit der Prüfung des Sitzkomforts im Rahmen der Technischen Prüfung von Ackerschleppern jetzt schon begonnen werden kann. Man könnte sich dahin einigen, den zur Zeit vorliegenden zweiten Entwurf der VDI-Richtlinie 2057 anzuwenden und später gegebenenfalls auf einen anderen Maßstab überzugehen, falls ein solcher dafür besser geeignet sein sollte.

### An das Prüfverfahren zu stellende Bedingungen

Bei der Auswahl eines Prüfverfahrens muß davon ausgegangen werden, daß es sich hier um eine ganz spezielle Untersuchung handelt, nämlich um eine Prüfung, die objektive Zahlen liefern soll, die ihrerseits wiederum einen qualitativen Vergleich von Schlepper zu Schlepper, beziehungsweise von Fahrzeug zu Fahrzeug zulassen. Der Unterschied zwischen einem Untersuchungs- oder auch Versuchsverfahren und einem Prüfungsverfahren ist der, daß bei Untersuchungen, beziehungsweise Versuchen, die der Forschung oder Entwicklung dienen, viele Verfahren gleichwertig nebeneinander möglich sind, je nach der Aufgabe, die im einzelnen gestellt ist. Jedes dieser möglichen Verfahren braucht deshalb aber noch nicht als Prüfverfahren geeignet zu sein. Das wichtigste Kriterium eines Prüfverfahrens ist, daß es von allen an der Prüfung Interessierten vorbehaltlos anerkannt wird. Das kann nur dann zutreffen, wenn die derzeit gültigen — in diesem Fall schwingungsphysikalischen, mathematischen sowie physiologischen — Theorien zugrunde gelegt sind, wenn alle Annahmen, die gemacht werden müssen, ausreichend begründet, diskutiert und nicht der Entscheidung des Prüfers freigestellt sind und wenn das Prüfverfahren die Zahlen liefert, die nach den letzten Erkenntnissen als bedeutend und richtig angesehen werden. Bezogen auf die Sitzkomfortprüfung heißt das, daß das anzuwendende Verfahren als Ergebnis die  $K$ -Faktoren der zu prüfenden Schlepper oder sonstiger Fahrzeuge liefern sollte. Wenn mehrere Verfahren möglich sind, dann sollte dem der Vorzug gegeben werden, bei dem das Ergebnis unmittelbar im Anschluß an die Prüffahrt vorliegt.

Um diese  $K$ -Faktoren zu erhalten, muß entsprechend der VDI-Richtlinie 2057 eine Frequenzbewertung durchgeführt werden.



**Bild 3:** Die Grenzen der Empfindungsgebiete bezogen auf eine Beschleunigungsbewertung [19]  
Entnommen aus ATZ 64 (1962), S. 67

Bevor darüber gesprochen wird, wie das geschehen kann, muß man sich klar sein, welche Frequenzen bei Ackerschleppern bei Fahrt auf Straßen, Feldwegen und Äckern vorkommen.

HAACK [2] hat festgestellt, daß bei fahrenden Ackerschleppern ohne Anbaugeräte die Hub- und Nickfrequenzen allgemein zwischen 2,5 und 5 Hz liegen, wenn die anregende Schwingung sinusförmigen Verlauf hat. HAACK kommt bei seinen Arbeiten zu dem Schluß, daß es zweckmäßig ist, das Frequenzverhältnis zwischen dem Schwingungssystem Schlepper-Reifen einerseits und Sitz-Fahrer andererseits möglichst so zu machen, daß die Eigenfrequenz des Systems Sitzfederung-Fahrer höchstens halb so groß wird wie die Frequenz der Hub- und Nickschwingungen, also etwa 1,25 bis 2,5 Hz. Man könnte daraus den Schluß ziehen, daß man bei der Prüfung des Sitzkomforts an Ackerschleppern nur die Frequenzen von etwa 1 bis 6 Hz zu berücksichtigen brauchte. Demzufolge könnte man einen Prüfstand bauen, der den Schlepper zu reinen Sinusschwingungen in diesem Frequenzbereich anregt, und hätte nun lediglich die am Sitz auftretenden Beschleunigungen zu messen. Da in diesem Bereich der  $K$ -Faktor proportional der Schwingbeschleunigung unabhängig von der Frequenz ist (s. Bild 1), brauchte man dann nur mittels einer Tabelle den  $K$ -Faktor zu bestimmen. Wenn man sich aber nur auf die Betrachtung einer reinen Sinusschwingung beschränkt, kommt man zu Fehlschlüssen, da die anregende Schwingung in Wirklichkeit niemals eine reine Sinusschwingung ist, so daß immer Oberschwingungen höherer Ordnung zu beachten sind.

Bei neueren Untersuchungen hat COENENBERG [22; 23; 30] festgestellt, daß bei Schleppern mit Anbaugeräten die hauptsächlich auftretenden Eigenfrequenzen im Frequenzband von etwa 1,2 bis 17 Hz liegen. Anbaugeräte, Frontlader und mehr oder weniger beladene Anhänger verändern die Schwingungsabläufe aber wesentlich. Es muß deshalb die Frage gestellt werden, ob die Prüfung nicht auch auf solche Fahrzustände ausgedehnt werden muß. Bei der Prüfung muß der Schlepper also den verschiedensten Schwingungsanregungen ausgesetzt werden, die im allgemeinen nur das Frequenzband von 1,2 bis 17 Hz bestreichen. Besser ist es natürlich, einen sowohl nach unten als auch nach oben etwas erweiterten Frequenzbereich zu wählen, beispielsweise von 0,7 bis 25 Hz, um mit ausreichender Sicherheit alle einflußreichen Frequenzen zu erfassen. Höhere Frequenzen brauchen nicht mehr berücksichtigt zu werden, weil die Empfindlichkeit des Menschen auf Schwingungen nach höheren Frequenzen hin stark abnimmt.

#### Bisher bekannt gewordene Versuchsverfahren

In der Literatur sind mehrere Verfahren beschrieben, die zur Untersuchung von Fahrersitzen angewendet worden sind.

HAACK [2] führte seine Untersuchungen auf einer ebenen Betonmeßbahn durch, auf die er für eine erste Versuchsgruppe ein Einzelhindernis und für eine zweite Versuchsreihe ein periodisches Hindernis aufgebracht hat. Bei dem periodischen Hindernis hat er den Abstand der einzelnen Erhebungen voneinander gleich dem halben Radstand des Versuchsschleppers gemacht. Dadurch und weil die Eigenfrequenz der Vorderachse normalerweise nur wenig von der der Hinterachse verschieden ist, gelang es ihm, dem Schlepper weitgehend reine Hubschwingungen aufzuzwingen. Er erzielte also ein sehr einfaches, gut definiertes Bewegungsbild. Bei der Fahrt über diese Hindernisbahnen hat er die Schwingwege an der Hinterachse, am Sitz und am Rücken des Fahrers und die Schwingbeschleunigung nur am Rücken des Fahrers gemessen. Er stützte sich dabei auf Untersuchungen von BÉKÉSY [24] und erfaßte alle Frequenzen bis etwa 20 Hz. Allerdings konnte er keine Frequenzbewertung vornehmen, weil ihm die Einrichtungen dazu nicht zur Verfügung standen. Die Versuchsfahrten machte er bei den durch die Getriebekonstruktion des Versuchsschleppers gegebenen Konstruktionsgeschwindigkeiten bei voller Motordrehzahl. Zu einer Beurteilung kam er durch Darstellung der gemessenen Beschleunigungsspitzen bei der zugehörigen Fahrgeschwindigkeit in einem Diagramm. Das Verfahren war für einen angenäherten Vergleich verschiedener Sitze auf einem Meßschlepper für die damalige Zeit recht gut geeignet. Es hat einen wesentlichen Anstoß zur Weiterentwicklung der Schleppersitze gegeben, weil es das erste brauchbare Verfahren war, das die Eigenschaften des Sitzes von Ackerschleppern der Messung zugänglich machte.

ISENDAHL [25] untersuchte wie HAACK Schleppersitze bei der Fahrt über Einzelhindernisse auf sonst ebener Fahrbahn. Auch er hat die auftretenden Schwingbeschleunigungen am Fahrerrücken gemessen. Er kam aber im Gegensatz zu HAACK zu keinem brauchbaren Beurteilungsverfahren durch Messung rein mechanischer Größen, weil damit die Energieaufteilung zwischen Körper und Sitz nicht bestimmt werden kann. Er schloß daraus, daß bei diesem Problem die Wechselwirkung zwischen Mensch und Maschine einen entscheidenden Einfluß haben muß. Er schlug deshalb vor, bei Sitzkomfortprüfungen nicht nur mechanische Größen, wie beispielsweise die Beschleunigung, sondern auch noch andere, physiologische Wirkungen am Schlepperfahrer zu messen.

DUPUIS [5] benutzte für seine Arbeiten einen Rollenprüfstand, dessen Rollen durch einen Elektromotor mit stufenlos variabler Drehzahl angetrieben werden können. Diese Rollen haben einen Umfang von etwa 1210 mm entsprechend einem Durchmesser von rund 385 mm, ihr Abstand kann dem Radstand des Schleppers angepaßt werden. Auf diese Rollen brachte DUPUIS Hindernisse so auf, daß diese wechselweise um 180° versetzt auf das rechte und linke Hinterrad und je um 90° phasenverschoben auf die Vorderäder wirken. Damit werden dem zu untersuchenden Schlepper verhältnismäßig komplizierte Bewegungen aufgezwungen. Einer reinen Hubschwingung werden Nick- und Wankschwingungen überlagert, der Schlepper führt also eine Art Taumelbewegung aus. DUPUIS hat auf diese Weise versucht, die in der Wirklichkeit auftretenden Verhältnisse nachzuahmen. Als Prüfungsgeschwindigkeiten wählte er 3; 6; 9; 12 und 15 km/h, die er mit dem regelbaren Elektromotor einstellen konnte. Dabei maß er die am Fahrersitz auftretenden Beschleunigungen mit drei verschiedenen schweren Fahrern. Als Beurteilungsziffer für die Qualität der Sitze benutzte er den Mittelwert aus den gemessenen Beschleunigungen. Eine Frequenzbewertung führte auch DUPUIS nicht durch. Wenn auch dieses Verfahren gewisse Mängel hat, wie die willkürlich gewählten Prüfungsgeschwindigkeiten und die wegen des sehr kleinen Rollendurchmessers nur in sehr enger Breite variierbare Hindernisfrequenz, so hat DUPUIS dadurch doch entscheidend zur Weiterentwicklung der Schleppersitze beigetragen.

DIECKMANN [9; 11] führte bei seinen Versuchen die Meßfahrten auf natürlichen Fahrbahnen durch. Er maß ebenfalls die am Sitz auftretenden Schwingbeschleunigungen. Dabei benutzte er sondergefertigte Aufnehmer, um die Frequenzen trennen zu können. Außerdem wandte er die Frequenzanalyse an. Zusätzlich untersuchte er die zu prüfenden Sitze außerhalb des Fahrzeugs mit statischen und dynamischen Methoden durch Aufnahme der Federkennlinie, durch einen Ausschwingversuch und durch Untersuchungen auf einem Schwingtisch. Er versuchte aber nicht, die von ihm benutzten Versuchsverfahren zu Prüfmethode auszubauen. Er kam zu dem Schluß, daß das Hauptproblem der Beurteilung des Sitzkomforts weniger bei der eigentlichen Schwingungsmessung und der Bewertung der Beschleunigungsamplituden etwa mit Hilfe der VDI-Richtlinie liegt als vielmehr bei der praktisch unendlichen Mannigfaltigkeit der auftretenden Schwingungserscheinungen im zeitlichen Ablauf einer Fahrt.

DRECHSLER [26] nahm seine Untersuchungen sowohl auf natürlichen Fahrbahnen als auch auf einer Meßbahn mit künstlichen Hindernissen in fester Anordnung vor. Auf dieser Meßbahn waren vier verschieden hohe, aber gleich breite und gleich weit voneinander entfernte Hindernisse angebracht. Gemessen hat auch er die Beschleunigungen am Rücken des Fahrers. Zu einer Bewertung kam er, indem er die von DIECKMANN [27] aufgestellte Tabelle über die Erträglichkeit von Schwingungen benutzte und die Beschleunigungen, die DIECKMANN für  $K = 30$  und  $K = 100$  angibt, als Bezugsbeschleunigungen wählte. Mit diesen verglich er durch Verhältnisbildung die gemessenen Maximalbeschleunigungen.

#### Das Prüfverfahren

Um einerseits die nach der VDI-Richtlinie erforderliche Frequenzbewertung durchführen zu können und um andererseits auch die von DIECKMANN als wesentlich bezeichnete während der Fahrt unendliche Vielfalt der Schwingungserscheinungen zu berücksichtigen, gibt es zwei Möglichkeiten: die Prüfung auf einem Rollenprüfstand mit Frequenzanalyse oder die Prüfung auf einer Meßbahn ohne Frequenzanalyse.

### Prüfung auf einem Rollenprüfstand mit Frequenzanalyse

Der Schlepper muß so auf einen Rollenprüfstand aufgestellt werden, daß seine Vorderachse und Hinterachse ohne gegenseitige Phasenverschiebung bevorzugt zu Hubschwingungen angeregt werden. Es sind also zwei Trommeln gleichen Durchmessers erforderlich, die exakt auf den Schlepperradstand einzustellen sein müssen. Auf beiden Trommeln sind für jedes Rad je ein oder auch mehrere Hindernisse anzubringen, die untereinander gleiche Form haben müssen und nicht gegeneinander versetzt sein dürfen. Die Gestalt des Hindernisses ist in gewissen Grenzen, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, frei wählbar. Der Schlepper muß nun seinen gesamten Geschwindigkeitsbereich stufenlos durchfahren, damit alle in diesem Bereich möglichen Frequenzen gleichmäßig erfaßt werden. Die auf dem Prüfstand erzeugten Bewegungen des zu prüfenden Schleppers müssen hinsichtlich ihrer Häufigkeitsverteilungen, beispielsweise den Beschleunigungen, den wirklichen Bewegungen hinreichend ähnlich sein.

Am Sitz sind die auftretenden Beschleunigungen zu messen, die dabei auf ein Tonband aufgespielt werden müssen. Eine Registrierung in einem Oszillogramm ist nicht zweckmäßig, weil zur Bestimmung des *K*-Faktors eine Frequenzanalyse notwendig ist, die aus einem Oszillogramm nicht gewonnen werden kann. Auch das über Tonband und Frequenzanalysator (Bild 4) gewonnene Beschleunigungsspektrum ermöglicht nur mit einem erheblichen Rechenaufwand die Ermittlung des *K*-Faktors. Das ganze Verfahren ist so unhandlich, daß die Prüfung des Sitzkomforts auf einem Trommelprüfstand aus den Erörterungen ausgeschieden werden kann, zumal die Verwendung eines Rollenprüfstandes dann unmöglich ist, wenn die zu prüfenden Fahrzustände auf Schlepper mit Anhängern ausgedehnt werden sollen.

### Prüfung auf einer Meßbahn ohne Frequenzanalyse

Nach dem heutigen Stand unserer Kenntnis kommt nur die Methode von STEINBRENNER und DUGGE [20] in Frage, die allerdings für Prüfungszwecke noch etwas abgewandelt werden muß. Der Prüf Schlepper muß dabei mit gleichbleibender Geschwindigkeit über eine Prüfstrecke fahren, die sich mit verhältnismäßig einfachen Mitteln durch entsprechende Auswahl der Hindernishöhen und -weiten mit statistisch ausreichender Häufigkeit so bauen läßt, daß die Fahrgeschwindigkeit konstant sein kann und der Schlepper trotzdem allen im vorgesehenen Frequenzbereich denkbaren Anregungen ausgesetzt ist. Als Meßgerät kann das Integriergerät von STEINBRENNER benutzt werden, das aber noch einen Geräteanteil erhalten muß, der den quadratischen Mittelwert zu bilden imstande ist, sowie ein Netzwerk nach DIECKMANN [11], das die Frequenzbewertung nach der VDI-Richtlinie 2057 ausführt. Ein solches Gerät ist noch nicht im Handel. Es ist aber denkbar, daß dies in absehbarer Zeit der Fall sein kann, zumal ein Prototyp von der Meßabteilung eines großen deutschen Automobilwerkes bereits entwickelt ist. Auf diese Weise wird die weiter oben gestellte Forderung, daß ein Prüfverfahren für den Sitzkomfort nach Möglichkeit sofort nach der Prüffahrt den *K*-Wert liefern sollte, ohne einen besonders erheblichen Aufwand an Meßgeräten und vor allem ohne die unständliche Frequenzanalyse, erfüllt.

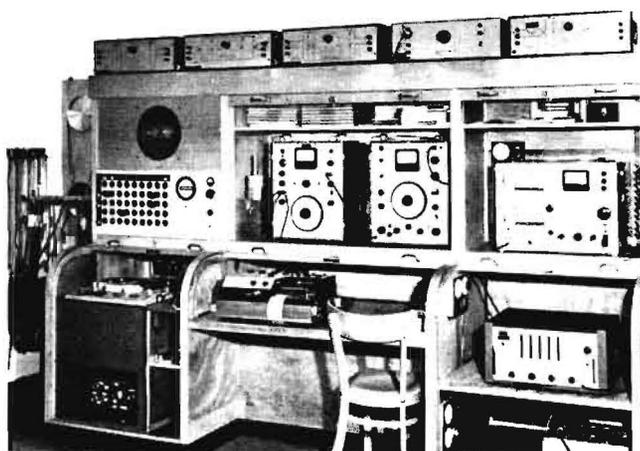


Bild 4: Ansicht eines Frequenzanalysators (Werkbild DB)

Um feststellen zu können, wie die Meßbahn aussehen muß, die für diese Prüfmethode erforderlich ist, muß bekannt sein, welche Oberflächenformen die verschiedenen in der landwirtschaftlichen Praxis vorkommenden Fahrbahnen, Straßen, Feldwege und Äcker haben, auf denen die Schlepper sich bewegen müssen. Es ist nicht bekannt, ob hierüber schon Untersuchungen vorliegen. Gegebenenfalls müssen eine große Anzahl solcher Fahrbahnen vermessen werden. Hierzu gibt es mehrere Verfahren: Sowohl geodätische wie dynamisch-mechanische sind brauchbar, wie beispielsweise das von KÖHLER-FUES oder das mit dem Braunschweiger Gerät [28]. Es darf erwartet werden, daß die so gewonnenen Unebenheitsfunktionen sich nach Güteklassen ordnen lassen, etwa in fünf Klassen, wie sehr gut, gut, mäßig, schlecht und sehr schlecht. Vorher müssen allerdings aus den Aufnahmen der Unebenheitsfunktionen die entsprechenden Energiedichte- oder Power-Spektren ermittelt worden sein.

Der Begriff des Power-Spektrums wurde von MITSCHKE [29] aus der angloamerikanischen Literatur entnommen und auf das Schwingungsverhalten von Fahrzeugen angewandt. Es gibt Aufschluß über die Mittelwerte von Bewegungen und Kräften, welche die zeitlichen Abläufe der Fahrzeugschwingungen charakterisieren, und damit über die Energiemengen, die hierbei umgesetzt werden. Wenn eine Unebenheitsfunktion beliebiger Form

$$h = f(t)$$

gegeben ist, dann läßt diese sich bekanntlich mit Hilfe des FOURIERschen Integrals auf eine beliebig große Zahl von Sinus- und Cosinusschwingungen zurückführen und damit in harmonische Schwingungen zerlegen. Das Amplitudenspektrum dieser Unebenheitsfunktion läßt sich außerdem mit Hilfe von Frequenzanalysatoren ermitteln. Beide Verfahren sind aber sehr zeitraubend. Außerdem interessieren nicht so sehr einzelne Werte als vielmehr Mittelwerte, die sich leichter berechnen lassen. Der lineare Mittelwert der Unebenheitsfunktion um die Zeit *t* ist nicht interessant, da er letztlich nichts anderes als die Steigung einer Fahrbahn angibt. Einzig und allein der quadratische Mittelwert ist kennzeichnend für die Güte der Fahrbahn, denn dieser kann positive und negative Werte erfassen. Dieser quadratische Mittelwert um die Zeit *t*<sub>0</sub> in dem Abschnitt von *t*<sub>0</sub> - *T'* bis *t*<sub>0</sub> + *T'* hat die Formel

$$\bar{f}^2(t_0) = \frac{1}{2T'} \int_{t_0 - T'}^{t_0 + T'} [f(t)]^2 dt$$

Wenn die Fahrbahn im großen und ganzen eben ist, wenn also der lineare Mittelwert von *t*<sub>0</sub> unabhängig ist, spricht man von einem zeitlichen, stationären Prozeß. Der quadratische Mittelwert für den unendlich langen Zeitraum ergibt sich danach zu

$$\bar{f}^2 = \lim_{T' \rightarrow \infty} \frac{1}{2T'} \int_{-T'}^{T'} [f(t)]^2 dt$$

Diesen Wert kann man noch umformen zu

$$\bar{f}^2 = \int_0^{\infty} \lim_{T' \rightarrow \infty} \frac{|a(\omega)|^2}{T'} d\omega$$

Diesem Integranden hat man die Bezeichnung Power-Spektrum oder Energiedichtespektrum gegeben, damit wird nun der quadratische Mittelwert der Unebenheitsfunktion als Maß für die Güte der Fahrbahn

$$\bar{f}^2 = \int_0^{\infty} p(\omega) d\omega$$

Es müßte nun in einer Vereinbarung festgelegt werden, welcher Güteklasse die zu bauende Prüfbahn entsprechen soll, das heißt, welches Power-Spektrum ihr zu Grunde zu legen ist. Wahrscheinlich wird es richtig sein, die Klasse „mäßig“ zu wählen. Ist die Prüfbahn besser, dann werden die Unterschiede in den Prüfergebnissen zu gering sein, so daß eine klare Beurteilung nicht oder nur schwer möglich ist. Ist die Prüfbahn dagegen schlechter, dann wird die Methode vielleicht schon in naher Zukunft unrealistisch, weil durch alle Förderungsmaßnahmen, die die Anpassung der Landwirtschaft an die moderne Technik zum Ziel haben, das Bestreben nach „guten“ Feldwegen geht.

Die Meßbahn kann dann auf zwei Arten gebaut werden:

1. Es könnte eine gegossene Bahn sein, die entweder als Kopic eines in der Natur vorkommenden Feldweges ausgeführt wird, oder als eine Bahn, deren Oberfläche als Stufenfunktion ausgebildet ist, die aber statistisch den wirklichen Verhältnissen entspricht. Im ersteren Fall brauchte nur durch eine dazu eingesetzte Kommission nach Ortsbesichtigung ein Feldweg ausgesucht und als Prüfstrecke festgelegt zu werden. Dieser müßte dann beim Schlepper-Prüffeld in Beton nachgebaut werden. Im anderen Falle ist das gleiche Verfahren, wie nachfolgend beschrieben, notwendig. Durch den Bau einer Betonprüfbahn legt man sich jedoch wegen der hohen Investitionskosten auf lange Zeit hinaus fest.

2. Es ist deshalb praktischer, die Prüfstrecke als Lattenstraße zu bauen, die es jederzeit gestattet, Änderungen vorzunehmen. Dazu muß eine Unebenheitsfunktion mit einem typischen Power-Spektrum ausgewählt werden, das der als Prüfbahn vereinbarten Feldweg-Güteklasse entspricht und danach die Lattenstraße berechnet werden.

Die Bestimmung der Energiedichte-Spektren und die Berechnung der Lattenstraße können nur mit einer elektronischen Rechenmaschine vorgenommen werden. Der geodätische und rechnerische Aufwand hierfür erscheint hoch, ist aber erforderlich, weil nur eine solche Prüfbahn geeignet ist, die keine Perioden oder periodischen Anteile enthält. Sonst hat ihr Power-Spektrum bei den entsprechenden Frequenzen Unendlichkeitsstellen (peaks-Nadelspitzen). Die Unebenheitsfunktion muß also statistisch verteilt, vollkommen unregelmäßig sein. Sie muß einer Poissonschen Verteilung möglichst nahe kommen, andernfalls läßt sich die Lattenstraße oder auch gegebenenfalls die Betonbahn gar nicht errechnen. Sind die einzelnen Stufen der Lattenstraße  $L_i$  m lang und ist die Fahrgeschwindigkeit  $v$  m/s, dann ist die Überfahrzeit für die einzelne Stufe

$$T_i = \frac{L_i}{v} \text{ [s]} .$$

Die mittlere Überfahrzeit ist

$$\bar{T} = \frac{\bar{L}}{v} \text{ [s]}$$

oder als Kreisfrequenz ausgedrückt

$$\nu = \frac{2\pi}{\bar{T}} = 2\pi \cdot \frac{v}{\bar{L}} .$$

Verteilen sich die Stufenlängen  $L_i$  nach einer Poissonschen Verteilung

$$w(T) = \frac{1}{\bar{T}} \cdot e^{-\frac{T}{\bar{T}}} .$$

dann ist das Power-Spektrum der Lattenstraße

$$p(\omega) = \frac{2}{v} \cdot \frac{h^2}{1 + \pi^2 \left(\frac{\omega}{v}\right)^2} .$$

Bild 5 zeigt einen Ausschnitt einer solchen Lattenstraße.

Schließlich muß noch erörtert werden, wie lang die Prüfstrecke sein muß. Hierüber gibt Bild 6 Auskunft. Das hier gezeigte Diagramm, das in etwas anderer Form auch schon von HAAK gebracht wurde, ist aus der Formel

$$\omega = 2\pi \cdot \frac{v}{L}$$

entstanden.

Die Hauptbestimmungsgrößen für die Länge der Prüfbahn sind danach die untere Grenzfrequenz, die berücksichtigt werden muß, und die Prüfgeschwindigkeit, die vorgesehen wird. Wenn als untere Grenzfrequenz 0,7 Hz bestimmt und keine Prüfgeschwindigkeit festgesetzt werden soll, damit das Prüfinstitut die Freiheit der Wahl der jeweiligen Geschwindigkeit behält, dann müssen in der Lattenstraße Wellenlängen von etwa 2 cm bis 10 m vorkommen, und zwar so oft, daß eine ausreichende statistische Häufigkeit gewährleistet ist. Normalerweise werden bei statistischen Untersuchungen weit mehr als 100, häufig mehr als 1000 Ereignisse als Mindestforderung für ausreichende Sicherheit angestrebt. Wenn man aber für eine überschlägige Rechnung für diesen Spezialfall 100 Ereignisse als ausreichend für eine statistische Sicherung des Prüfungsergebnisses ansieht, dann müßte die Prüfbahn unter diesen Umständen schon 1000 m lang sein.



Bild 5: Ausschnitt aus einer Lattenstraße (Werkbild D3)

Man sieht daraus, daß man sich gewisse Beschränkungen auferlegen muß. Ackerschlepper sind in der Regel nicht mit Tachometern ausgerüstet. Es ist auch nur selten der Fall, daß mehrere Schleppertypen eine oder mehrere Konstruktionsgeschwindigkeiten gemeinsam haben. Es ist deshalb nicht gut möglich, eine bestimmte Prüfgeschwindigkeit, beispielsweise von 5 km/h, festzulegen, weil diese sich nicht genau genug einhalten lassen wird. Es ist zweckmäßiger, einen Geschwindigkeitsbereich, in dem gefahren werden soll, in den aufzustellenden Regeln zu vereinbaren. Alle Schleppertypen haben in dem Bereich zwischen 3,5 und 7 km/h mindestens einen Getriebeengang. Würde man sich auf diesen Bereich einigen, dann brauchte die längste in der Lattenstraße vorkommende Welle nur etwa 3 m lang zu sein und die kürzeste etwa 5 cm, so daß sich auf diese Weise eine Prüfstrecke von rund 300 m Länge errechnet, vorausgesetzt, daß die Annahme der 100 Ereignisse den zu stellenden Ansprüchen an ausreichende statistische Genauigkeit genügt. Wenn man sich vorher einigt, welchen Fehler man zulassen will, dann ist es verhältnismäßig einfach, die endgültige Länge der Prüfbahn mit einer elektronischen Rechenmaschine zu ermitteln.

### Schlußbetrachtung

Es wurde ein Verfahren beschrieben, mit dem es möglich zu sein scheint, den Sitzkomfort von Ackerschleppern im Rahmen der Technischen Prüfung zu messen. Dieses Verfahren liefert im Anschluß an die Meßfahrt die Bewertungszahl  $K$  für die auftretende Schwingbeschleunigung nach der Definition der VDI-Richtlinie Nr. 2057. Der erforderliche Aufwand an Meßgeräten ist nicht erheblich. Allerdings ist der Bau einer Prüfstrecke erforderlich, die zweckmäßig als Lattenstraße und nicht als gegossene Betonstraße vorgesehen wird, weil die erstere jederzeit die Möglichkeit der Änderung des zu Grunde zu legenden Power-Spektrums gestattet. Es erscheint möglich, dazu die beim Schlepper-Prüffeld bereits vorhandene Betonbahn für Zugkraftmessungen heranzuziehen, ohne daß diese dann für ihren eigentlichen Zweck unbrauchbar wird. Allerdings müßte dabei in Kauf genommen werden, daß die Lattenstraße vor jeder Sitzkomfort-Prüffahrt aufgebaut und danach wieder abgebaut werden muß. Mit diesem

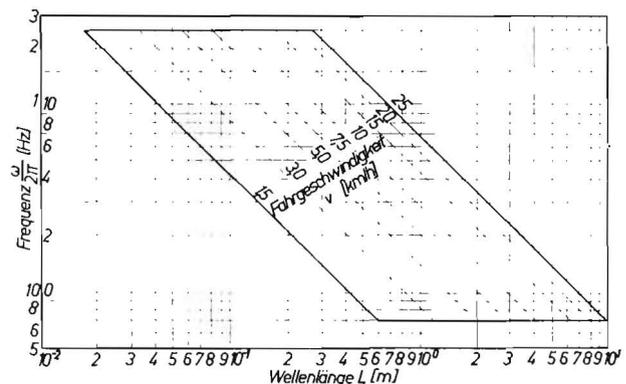


Bild 6: Zusammenhang zwischen Erregerfrequenz, Fahrgeschwindigkeit und Straßenwellenlänge bei Ackerschleppern

Zeitaufwand ließe es sich eventuell erreichen, mit verhältnismäßig niedrigen Baukosten auszukommen. Da die für Zugkraftmessungen vorhandene Meßbahn etwa 450 m lang ist und ein geschlossenes Oval bildet, ließe sich so auch vielleicht durch beliebig häufige Rundfahrten der Meßwert auf eine so hohe statistische Genauigkeit bringen, daß jedem Anspruch genügt wird. Es müßte allerdings vorher durch Rechnung geprüft werden, ob die dabei eintretende Periodizität die Poissonsche Verteilung unzulässig stark stört.

Andere in der Literatur beschriebene Untersuchungsverfahren müssen für Prüfverfahren als ungeeignet angesehen werden, da sie den erwünschten  $K$ -Wert nicht liefern und, falls sie in dieser Richtung ausbaufähig sind, wie beispielsweise der Trommelprüfstand, an Zeit und Apparaten zu aufwendig werden.

Das beschriebene Prüfverfahren hat den Vorteil, daß es nicht allein auf Ackerschlepper anwendbar ist. Es kann sofort auch auf Baumaschinen und andere geländegängige Fahrzeuge übertragen werden. Im Prinzip gilt es auch für Straßenfahrzeuge, nur müßten hier die Prüfbedingungen den anderen Einsatzverhältnissen (Fahrbahn, Fahrgeschwindigkeit) entsprechend abgeändert werden. Es dürfte deshalb zweckmäßig sein, bei der endgültigen Ausarbeitung diese Industriezweige zu beteiligen.

### Zusammenfassung

Der Verfasser gibt einen Überblick über den gegenwärtigen Stand der ingenieurmäßigen Erkenntnisse auf dem Gebiet der Einwirkung von Fahrzeugschwingungen auf den Menschen. Er schildert verschiedene Methoden, die bisher zur Untersuchung von Fahrersitzen auf Ackerschleppern angewandt worden sind. Von allen bisher angewandten Methoden scheint keine so ausreichend brauchbar zu sein, daß daraus eine Prüffregel entwickelt werden kann, die im Rahmen der Technischen Prüfung von Ackerschleppern angewendet werden könnte. Nach derzeitigem Stand der Kenntnisse kommt dafür nur die Methode nach STEINBRENNER in Frage, die aber auch noch dem jeweiligen Anwendungsfall angepaßt werden muß.

Der Verfasser gibt weiterhin noch an, welche Voraussetzungen erst noch erfüllt und welche Vereinbarungen getroffen werden müssen, um eine Prüffregel aufstellen zu können. Schließlich wird noch ein Weg gewiesen, um auf verhältnismäßig einfache Weise zu einer Prüfbahn zu kommen, die exakt definiert ist, aber wandlungsfähig genug bleibt, um späteren Entwicklungen angepaßt werden zu können.

### Schrifttum

- [1] Prüffregeln für Ackerschlepper. Landtechnik 5 (1950), S. 759—762
- [2] HAACK, M.: Über die günstigste Gestaltung der Schleppersitzfederung bei luftbereiften Ackerschleppern mit starrer Hinterachse. Landtechnische Forschung 3 (1953), S. 1—13
- [3] HAACK, M.: Über die Beanspruchung des Menschen durch Erschütterungen auf Schleppern und Landmaschinen. In: 11. Konstrukteurheft. VDI-Verlag, Düsseldorf 1953. (Grundlagen der Landtechnik, Heft 4), S. 110—115
- [4] DUPUIS, H.: Menschliche Beanspruchung bei der Bedienung von Kraftfahrzeugen. ATZ 58 (1956), S. 181—191
- [5] DUPUIS, H.: Schwingungsuntersuchungen bei Schleppern auf einem Rollenprüfstand. Landtechnische Forschung 10 (1960), S. 154—156
- [6] DUPUIS, H.: Meß- und Bewertungsverfahren für die menschliche Belastung bei Arbeiten mit Einachsleppern. Landtechnische Forschung 12 (1962), S. 93—98
- [7] DUPUIS, H., und H.-A. BROICHER: Schwingungsuntersuchungen mit elektronischer Klassierung bei praktischen Fahrversuchen. Landtechnische Forschung 12 (1962), S. 40—43
- [8] DUPUIS, H., und H.-A. BROICHER: Elektronisch-statistische Meßmethode zur quantitativen Bewertung von Fahrzeugschwingungen. ATZ 64 (1962), S. 78—81
- [9] DIECKMANN, D., und H. SCHEFFLER: Untersuchungen von Schwingungen in einem Omnibus und ihre Einwirkung auf den Menschen. ATZ 58 (1956), S. 209—212
- [10] DIECKMANN, D.: Die Wirkung mechanischer Schwingungen in Kraftfahrzeugen auf den Menschen. ATZ 59 (1957), S. 297—302
- [11] DIECKMANN, D.: Einige Methoden zur Untersuchung des Schwingungsverhaltens von Kraftfahrzeugsitzen. ATZ 64 (1962), S. 70—73
- [12] STUMP, E.: Gegenwärtiger Entwicklungsstand der Omnibusfederung. ATZ 60 (1958), S. 261—264
- [13] CHIESA, A.: Verfahren zur Bewertung des Fahrkomforts mit besonderer Berücksichtigung des Einflusses des Reifendrucks. ATZ 60 (1958), S. 68—75
- [14] MITSCHKE, M.: Schwingungsverhalten und Sicherheit eines Kraftfahrzeuges. ATZ 60 (1958), S. 168—174
- [15] MITSCHKE, M.: Der Reifen in seiner Wirkung auf Fahrzeug und Fahrbahn. ATZ 62 (1960), S. 118—122
- [16] MARQUARDT, E.: Federung, Stoßdämpfung und dynamische Bodenkräfte. ATZ 58 (1956), S. 134—138 und S. 153—161
- [17] WAGNER, D.: Der bewegte Sitz. ATZ 60 (1958), S. 251—255
- [18] VAN DER BURGT, G. J.: Die Luftfederung und der Fahrkomfort. ATZ 62 (1960), S. 113—117
- [19] MEISTER, F. J.: Schwingungsmessungen und ihre Bewertung für den Fahrkomfort. ATZ 64 (1962), S. 65—69

- [20] STEINBRENNER, H., und K. W. DUGGE: Ein einfaches Verfahren zum Vergleich der Schwingungsverhältnisse und des Fahrkomforts ähnlicher Fahrzeuge. ATZ 64 (1962), S. 73—77
- [21] Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. VDI-Richtlinie 2057, 2. Entwurf, Dezember 1961
- [22] COENENBERG, H.-H.: Dynamische Beanspruchungen bei Ackerschleppern I. Landtechnische Forschung 11 (1961), S. 145—150, und 12 (1962), S. 7—12
- [23] COENENBERG, H.-H.: Zum Verhalten der Kupplung im Schleppertriebwerk. Dissertation an der TH Braunschweig, 1962
- [24] BÉKÉSY, G. v.: Über die Empfindlichkeit des stehenden und sitzenden Menschen gegen sinusförmige Erschütterungen. Akustische Zeitschrift 4 (1939), S. 360—369
- [25] ISENDAHLE, H.: Schwingungsmessungen an Schleppersitzen. In: VDI-Berichte, Heft 25. VDI-Verlag, Düsseldorf 1957, S. 43—47
- [26] DRECHSLER, K.: Untersuchungen an Schleppersitzen. In: Tagungsberichte des Instituts für Landtechnik Potsdam-Bornim der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin Nr. 40, Berlin 1961, S. 93—108
- [27] DIECKMANN, D.: Einfluß vertikaler Schwingungen auf den Menschen. Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschl. Arbeitsphysiologie 17 (1958), S. 83—100
- [28] MITSCHKE, M.: Theoretische und experimentelle Schwingungsuntersuchungen am Kraftfahrzeug. Vortrag auf der Fachtagung „Messen und Rechnen am Kraftfahrzeug“. Braunschweig 1962. Vorabdruck vom VDI, Fachgruppe Fahrzeugtechnik (ATG)
- [29] MITSCHKE, M.: Beitrag zur Untersuchung der Fahrzeugschwingungen — Theorie und Versuch. (Deutsche Kraftfahrtforschung und Straßenverkehrstechnik, Heft 157). VDI-Verlag, Düsseldorf 1962
- [30] COENENBERG, H. H.: Das „äußere“ Schwingungsverhalten von Ackerschleppern, insbesondere ihre dynamischen Achslasten. Landtechnische Forschung 12 (1962), S. 157—165

### Résumé

*Werner Kiene: "Testing the Seating Comfort on Agricultural Tractors".*

*The author renders a survey of the present findings regarding the effect of vehicle vibrations on man. He describes various methods hitherto applied for examining driver seats on agricultural tractors. Of all methods used so far, none appears useful enough for deriving a testing rule which could be used in technical tests with agricultural tractors. According to the present state of knowledge only STEINBRENNER'S method is eligible which, however, has also to be adapted to the specific case of application.*

*Moreover, the author states which pre-conditions have still to be fulfilled and which arrangements have to be made in order to be able to establish a testing rule. Finally a way is shown how to achieve by a comparatively simple manner a testing distance, which is exactly defined but can easily be modified so as to suit new developments.*

*Werner Kiene: «Contrôle du confort des sièges de tracteurs agricoles.»*

*L'auteur donne un aperçu sur l'état actuel des connaissances que l'ingénieur a au sujet de l'influence des oscillations du tracteur en marche sur le conducteur. Il décrit certaines méthodes qui ont été utilisées jusqu'ici pour juger de la qualité des sièges de conducteur. Mais il semble qu'aucune de ces méthodes ne puisse servir de base à un règlement d'essai utilisable dans le cadre des essais techniques des tracteurs agricoles. La seule méthode qui puisse être prise en considération d'après l'état actuel des connaissances est la méthode «STEINBRENNER» bien qu'elle doive encore être adaptée à chaque cas particulier.*

*L'auteur indique en outre les conditions qui doivent être réalisées et les conventions qui doivent être fixées afin de pouvoir élaborer un règlement d'essai. Il montre enfin un chemin permettant de réaliser de façon relativement simple une piste d'essai qui peut être définie exactement et qui reste encore suffisamment variable pour que l'on puisse l'adapter aux évolutions futures.*

*Werner Kiene: «Comprobación del confort de los asientos de tractores agrícolas.»*

*El autor da una orientación general sobre el estado de los conocimientos actuales, desde el punto de vista del constructor, de la influencia que ejercen las oscilaciones de los vehículos en el hombre. Explica varios métodos empleados hasta la fecha, para ensayar los asientos de los conductores de tractores agrícolas. Entre todos estos métodos parece que no hay ninguno que sea útil para desarrollar a base del mismo, una regla de comprobación aplicable dentro de la gama de comprobaciones de dichos tractores. Fundándonos en los conocimientos actuales, sólo podría emplearse el método STEINBRENNER, pero aun éste tiene que adaptarse a las circunstancias del caso.*

*A continuación el autor indica las condiciones que deben cumplirse y los convenios que deben celebrarse, antes de que pueda darse una regla para la comprobación. Para terminar se indica una manera sencilla de construir un recorrido de comprobación exactamente definido, pero que permita variaciones que lo adapten a exigencias que pueda imponer el desarrollo futuro.*