

# Technische Möglichkeiten zur Erleichterung der Arbeit der Fahrer von Schleppern, Mähreschern und anderen selbstfahrenden Arbeitsmaschinen

Von Wilhelm Batel, Braunschweig-Völkenrode \*)

DK 631.372:62 - 52:62 - 784

Eines der wichtigsten Ziele der Technik besteht seit ihrem Wirken darin, die Arbeit des Menschen zu erleichtern. Die Fahrer von Arbeitsmaschinen werden vornehmlich psychisch aber auch physisch belastet. Dieser Bericht zeigt in einer Übersicht grundsätzliche technische Möglichkeiten zur Verminderung dieser Belastungen. — Diese Möglichkeiten umfassen unter anderem eine Automatisierung von Arbeitsfunktionen und der Lenkung, die Schwingungsdämpfung, die Lärminderung und die Behandlung der umgebenden Atmosphäre.

## 1. Belastungsarten für Fahrer von Arbeitsmaschinen

Eine der umfangreichsten Arbeiten in der pflanzlichen Produktion ist das Fahren von Schleppern, Mähreschern und anderen selbstfahrenden Arbeitsmaschinen. Wenn man in Verbindung mit diesen Maschinen die Frage nach dem technischen Fortschritt aufwirft, dann beinhaltet dies auch die Erörterung der technischen Möglichkeiten zur Erleichterung der Arbeit des Fahrers und der Maßnahmen zum Schutz seiner Gesundheit. Diese Möglichkeiten werden in diesem Bericht in Form einer Übersicht behandelt.

Die Substitution von tierischer und menschlicher Energie durch Wärmeenergie brachte in Verbindung mit dem schnellaufenden Verbrennungsmotor in den letzten 100 Jahren eine wesentliche Erleichterung der körperlichen Arbeit für die in der Landwirtschaft tätigen Menschen. Diese physische Entlastung ist aber nur durch eine entsprechende Mechanisierung möglich, mit der nun andererseits eine psychische Belastung verbunden sein kann. So haben Schlepper, Mährescher und andere selbstfahrende Arbeitsmaschinen einen technischen Umfang hinsichtlich Größe und Funktion erreicht, der zu einer psychischen Belastung des Fahrers und damit zu einer Beeinträchtigung der Arbeit führen kann. Die Folge ist unter anderem eine Minderung der Leistung und der Arbeitsqualität. Diese Erscheinung läßt sich quantitativ noch nicht erfassen, der Tatbestand als solcher ist aber unbestritten.

Vortrag im Rahmen des <Kolloquiums über Schleppertechnik > anlässlich des 75. Geburtstages von Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing.E.h. Helmut Meyer.

\*) Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Batel ist Direktor des Instituts für landtechnische Grundlagenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig - Völkenrode.

Methoden zum Messen der physischen und psychischen Belastung sind insbesondere in den letzten Jahren entwickelt worden. Sie sind in einer Arbeit von A. Tolle [1] zusammengestellt. Im Hinblick auf die Frage, welche Belastungen beim Fahrer auftreten und wie diese in Zusammenhang stehen mit der Arbeitsleistung und der Arbeitsqualität, gibt es bisher nur erste Ansätze, und zwar für ganz spezielle Fälle. Aus diesem Grunde ist eine ökonomische Bewertung der zu diskutierenden technischen Möglichkeiten im voraus vorläufig noch nicht möglich.

Die Tafel 1 zeigt in einer Übersicht die wichtigsten Belastungen, die bei einer Arbeit mit selbstfahrenden Arbeitsmaschinen auftreten. Es wird unterschieden zwischen der Belastung durch die auszuführende produktive Arbeit und den indirekt damit zusammenhängenden Belastungen aus den Umweltbedingungen am Arbeitsplatz. Der produktiven Arbeit werden die Überwachung und Steuerung der Arbeitsgeräte und die Führung der Arbeitsmaschine zugeordnet. Zu den sich aus den Umweltbedingungen ergebenden Belastungen gehören mechanische Schwingungen, Lärm, Klima und luftfremde Stoffe.

Belastungen durch die produktive Arbeit führen abgesehen von Sonderfällen zu einer Ermüdung und dann zu einer Minderung der Arbeitsleistung und Arbeitsqualität. Sie lassen sich durch Automatisieren abbauen. Die vom "Arbeitsplatz" ausgehenden Belastungen können darüber hinaus auch zu einer gesundheitlichen Schädigung führen. Auf die grundsätzlichen technischen Möglichkeiten des Schutzes gegen diese Wirkungen wird in der Tafel hingewiesen.

		Entlastung durch:
2. Belastung durch produktive Arbeit	2.1 Durchführen, Steuern und überwachen des Arbeitsprozesses	Automatisieren
	2.2 Führen des Fahrzeuges	Automatisieren
3. Belastung durch die Umweltbedingungen am Arbeitsplatz	3.1 Mechanische Schwingungen	Schwingungsdämpfung
	3.2 Lärm	Lärminderung
	3.3 Klima	Klimatisieren
	3.4 luftfremde Stoffe	Emissionsbegrenzung, Luftbehandlung

Tafel 1. Auf den Fahrer von Arbeitsmaschinen einwirkende Belastungen und Möglichkeiten zu deren Verringerung.

## 2. Entlastung des Fahrers bei der produktiven Arbeit

Mit der gewählten Gliederung wird der Bereich der produktiven Arbeit deshalb gesondert erfaßt, weil sich die durch sie bedingte Belastung durch ein Automatisieren der entsprechenden Arbeitsabläufe [2, 3, 4] abbauen läßt. Automatisieren heißt nämlich, die Produktionsmittel so zu gestalten, daß der Mensch weder ständig noch in festgelegtem Rhythmus von ihnen in Anspruch genommen wird. Daher ist die Arbeiterleichterung neben der Verbesserung der Arbeitsqualität und der Arbeitsleistung eine wesentliche Komponente der Automatisierung.

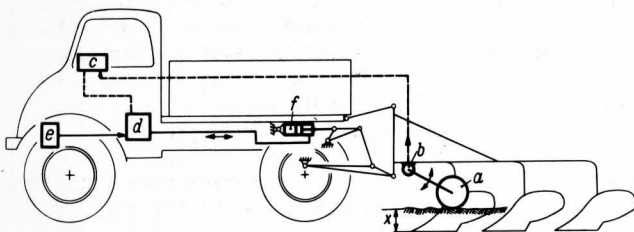
Dieser kurze Hinweis umreißt auch ein Fernziel der technischen Entwicklung. Dieses Ziel beinhaltet, alle Arbeiten mit dem Schlepper oder den Arbeitsmaschinen vollautomatisch auszuführen. Diesem Bestreben sind aber, wenn man von Sonderfällen absieht, für die nahe Zukunft Grenzen gesetzt, so daß wir uns mit Teillösungen beschäftigen müssen.

### 2.1 Entlastung bei der Durchführung, Steuerung oder Überwachung der mit dem Schlepper oder der Arbeitsmaschine durchzuführenden Arbeit

Mit dem Schlepper oder selbstfahrenden Arbeitsmaschinen können recht unterschiedliche Arbeiten ausgeführt werden wie Bodenbearbeitung, Ernte, Transport und Mähdrusch. Eine Automatisierung bei solchen Arbeitsabläufen hat sich in den letzten Jahren verstärkt in der Praxis eingeführt. Zu erwähnen sind die Pflugtiefen-, die Mährescherdurchsatz-, die Schneidwerkklageregelung und die selbsttätige Nachführung bei Rübenrodern [5]. Behandelt werden hier nur zwei als repräsentativ für die Automatisierung anzusehende Beispiele, nämlich die Pflugtiefenregelung und der Mähdrusch.

Automatische Pflugtiefenregelungssysteme gibt es seit der Erfindung von Ferguson und damit schon seit mehreren Jahrzehnten. Dieser Automat hat hinsichtlich der Pflugarbeit eine merkbare Entlastung für den Schlepperfahrer gebracht.

Aufgrund der Entwicklung in der Elektronik und der Hydraulik bieten sich neben den bisher rein mechanisch-hydraulischen Systemen auch elektrohydraulische Lösungen an [6, 7], Bild 1. Bei dieser Bauart wird der Informationsfluß im Regelkreis durch elektrische und die Verstellung durch hydraulische Elemente besorgt. Der Vorteil einer derartigen Zuordnung der Funktionen liegt nicht nur in den größeren Möglichkeiten hinsichtlich der Automatisierung, sondern vor allem in einer weitergehenden Information des Schlepperfahrers. Bei den elektrohydraulischen Systemen liegt die Information über die zu regelnde Größe stets als elektrisches Signal vor, so daß sie auch mit einfachen Mitteln angezeigt werden kann.



**Bild 1.** Schema einer elektrohydraulischen Pflugtiefenregelung für einen Pflug am Unimog

- |   |   |
|---|---|
| a Tastrad                                   | } Die Messung der Pflugtiefe x kann auch auf andere Weise geschehen |
| b kapazitiver Winkelgeber                   |   |
| c Verstärker und Schaltelemente (s. Bild 2) |   |
| d Magnetventil                              |   |
| e Hydraulikpumpe                            |   |
| f Hydraulikzylinder                         |   |

Das Bild 2 zeigt die Zusammenfassung von Anzeige und Betätigung am Fahrerplatz. Ein Drehknopf erlaubt es, die gewünschte Tiefe, die Solltiefe, einzustellen. Sie wird durch ein Zweizeigerinstrument gleichzeitig mit der tatsächlichen Tiefe des Pfluges, der Isttiefe, angezeigt.

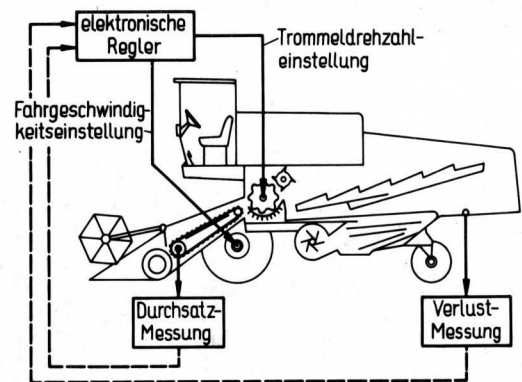
Ein zweiter Drehknopf dient zur Einstellung der Regelgenauigkeit. Darüber hinaus läßt sich das Gesamtsystem durch Druckschalter vom Fahrer übersteuern.

Die Steuerung des Mähdrusches mit dem Ziel, die jeweilige Körnerfrucht bei einem Minimum an Verlusten und bei maximalem Durchsatz zu ernten, läßt sich automatisieren [5, 8, 9, 10], Bild 3. Damit wird bei gleichzeitiger Verbesserung der Arbeitsqualität der Fahrer von der Einstellung der Trommeldrehzahl und der Fahrgeschwindigkeit befreit. Eine Anzeige der jeweiligen Istwerte am Fahrerplatz bereitet keine Probleme.



**Bild 2.** Schaltelemente für eine elektrohydraulische Pflugtiefenregelung

- |                           |                                  |
|---------------------------|----------------------------------|
| a Doppelzeigerinstrument  | c Drehknopf für Regelgenauigkeit |
| b Drehknopf für Solltiefe | d Druckschalter zum Übersteuern  |



**Bild 3.** Automatisierung des Dreschprozesses.

### 2.2 Entlastung bei der Führung von Fahrzeugen [11]

Die derzeitigen Maßnahmen zur Erleichterung der Fahrzeugführung betreffen vor allem die optimale Anordnung der technischen Elemente am Arbeitsplatz und ihre leichte Bedienbarkeit (Schaltautomatik, Servolenkung). Diese Maßnahmen werden als im Grundsatz bekannt vorausgesetzt und trotz ihrer Bedeutung nicht diskutiert.

Bei der Führung des Fahrzeuges wird der Fahrer am meisten durch das Lenken beansprucht. Es ist daher zu fragen, wie sich das Lenken automatisieren läßt. Eine solche Automatisierung umfaßt im wesentlichen auch die Handlungen, die ein Fahrer ausführt, nämlich das Erkennen der Leitlinien, das Messen der Abweichung des Fahrzeuges vom Sollwert und das Verarbeiten der so gewonnenen Werte zu einem Kommando an das Stellglied, d.h. das Betätigen der Lenkung. In Bild 4 ist das Schema eines Lenkautomaten dargestellt. Der Regelkreis besteht aus dem Fühler mit dem Meßwertgeber, dem elektrischen Verstärker, dem elektro-hydraulischen Ventil und dem Stellglied.

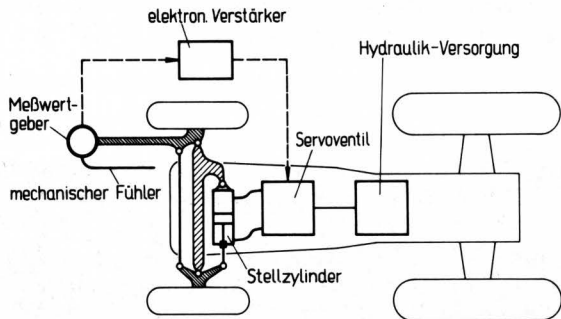


Bild 4. Schema einer automatischen Fahrzeuglenkung.

Die hydraulischen und regelungstechnischen [12] Probleme lassen sich mit den Regeln zum technischen Handeln aus diesen Gebieten lösen. Spezifisch landtechnisch dagegen ist die Gestaltung der Leitlinien und Fühler [13]. Als natürliche Leitlinien können diejenigen angesehen werden, die durch den Produktionsprozeß unmittelbar entstehen oder gegeben sind wie Pflugfurchen und Pflanzenreihen. Solche Linien lassen sich mechanisch, elektrisch, optisch [14] oder auch akustisch [15] abtasten. Am einfachsten zu lösen ist derzeit das mechanische Abtasten. Entsprechende Fühler für eine Pflugfurchen- und eine Leittrille zeigen die Bilder 5 und 6.

Neben diesen natürlichen Leitlinien können aber auch künstliche Leitlinien wie ober- oder unterirdisch verlegte Leitkabel eingesetzt werden [16, 17]. Jahns hat derartige Systeme eingehend untersucht. In Bild 7 ist beispielsweise ein von ihm entwickelter elektromagnetischer Fühler dargestellt. Dieses System hat den Vorteil, daß es einen höheren Automatisierungsgrad ermöglicht.



Bild 5. Vorrichtung zum Abtasten einer Pflugfurchen.



Bild 6. Fühler zum Abtasten einer Leittrille.

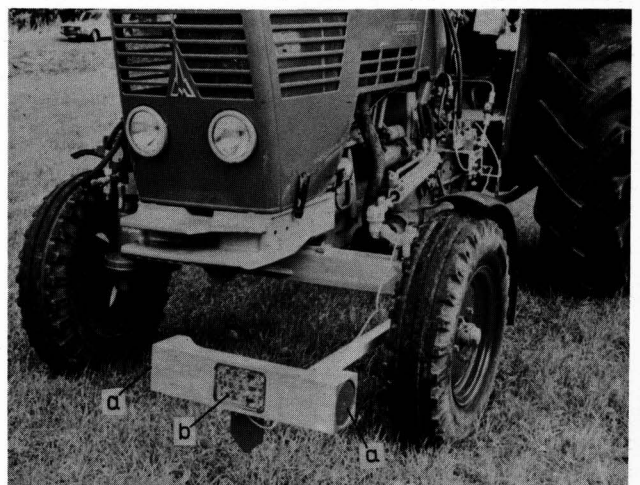


Bild 7. Ansicht eines elektromagnetischen Fühlers.

- a Spulen
- b elektronischer Verstärker

Der elektrische Teil des Regelkreises bereitet keine besonderen Probleme. Es bietet sich an, die Bauelemente zum Schutz gegen Feuchtigkeit und Erschütterungen in Vergußmasse einzubetten, Bild 8. Als Ventile zur Betätigung des Stellzylinders für die Lenkung kommen sowohl Servoventile als auch Wegeventile mit festgelegten Schaltstellungen in Frage. Auf die lebhaft entwickelte Entwicklung auf diesem Gebiet sei hingewiesen. Das Bild 9 zeigt die gesamte Anordnung zum automatischen Lenken eines Schleppers.

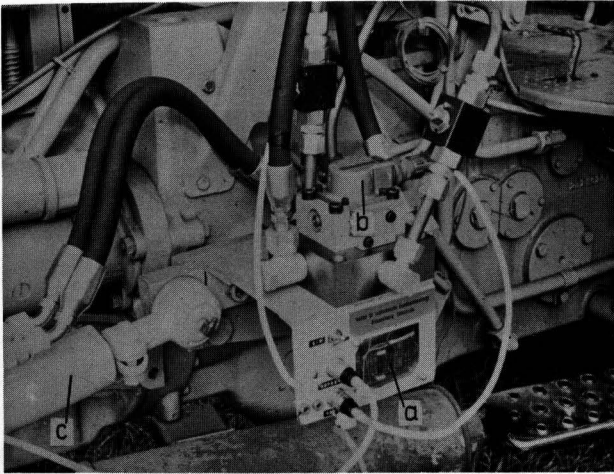
Die vorgenannten Möglichkeiten zur Automatisierung der Lenkung von Schleppern sind auch auf Mähdrescher übertragbar [18]. Dies ist für größere Maschinen von Interesse, weil mit steigender Schnittbreite das Lenken den Fahrer zunehmend beansprucht. Die Ursache liegt darin, daß die Lage der Mähwerksbegrenzung in Bezug auf die Schnittkante dann schwerer zu erkennen und zu verfolgen ist.

Die mechanische Abtastung der Schnittkante ist nur unter günstigen Bedingungen möglich, wie bei stehendem Getreide oder bei Pflanzen wie Mais. Für andere Fälle bietet sich das Ziehen oder Fräsen einer der Schnittkante zugeordneten Spurrille an, die sich mechanisch abtasten läßt. In Versuchen wurde gezeigt, daß man eine hohe Nachführgenauigkeit erreichen kann und ein Folgeverhalten derart, daß sich Führungsfehler bei nachfolgenden Fahrten nicht fortplanzen.



Die Automatisierung der Lenkung ist im Prinzip eine Lageregelung. Damit eignen sich die für die Lenkung entwickelten automatischen Systeme auch für die Nachführung von Maschinen und Arbeitselementen wie beispielsweise gezogene Rübensvollernter oder Rübenrodeschare [19].

Zusammenfassend läßt sich zu den genannten Belastungen durch produktive Arbeit feststellen, daß eine wesentliche Entlastung des Fahrers durch Automatisieren möglich ist. Die Automatisierung unter dem Gesichtspunkt der Erleichterung der Arbeit und der Verbesserung der Qualität bei ökonomisch vertretbaren Lösungen ist in den letzten Jahren zu einem der Schwerpunkte der Entwicklung geworden.



**Bild 8.** Regler und Stellglied der automatischen Lenkung.

- a in Vergußmasse eingebetteter elektronischer Verstärker (s.a. b in Bild 7)
- b Servoventil
- c Hydraulikzylinder der Servolenkung



**Bild 9.** Ansicht der gesamten Anordnung zur automatischen Schlepperlenkung.

- a Fühler zum Abtasten einer Leittrille (s. Bild 6)
- b elektronische Verstärker
- c Servoventil (s.a. b in Bild 8)
- d Hydraulikzylinder der Servolenkung

### 3. Verringerung der vom Fahrzeug und der Umwelt auf den Fahrer einwirkenden Belastungen [20]

Nach Tafel 1 wird ein Fahrer außer durch produktive Arbeit auch durch mechanische Schwingungen, Lärm, Klima und luftfremde Stoffe belastet. Während bei der produktiven Arbeit im wesentlichen nur eine mehr oder weniger starke Beeinträchtigung der Arbeit selbst möglich ist, kann mit den anderen Belastungen zusätzlich auch eine gesundheitliche Schädigung verbunden sein [21 bis 24]. Aus diesem Grund wird mit Nachdruck angestrebt, den Fahrer vor solchen Schäden zu schützen. Die in Verbindung hiermit zu erwartenden nationalen und internationalen Richtlinien oder Verordnungen wollen für diese Bemühungen einheitliche Ziele festlegen.

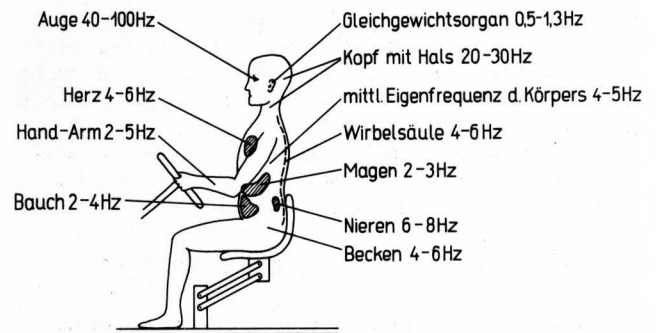
#### 3.1 Verminderung der Belastung des Fahrers durch mechanische Schwingungen

Als Folge der Fahrbahnebenheiten, die in unterschiedlicher Größe stets vorhanden sind, führt der Sitz, abhängig von der Konstruktion der Fahrzeuge, Schwingungen aus, die auf den Fahrer einwirken.

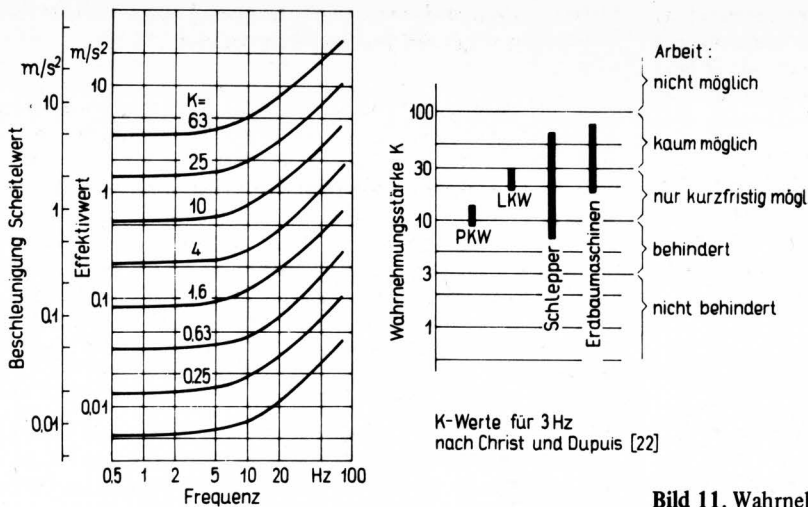
Gefährlich sind vor allem Schwingungen im Bereich zwischen 2 und 10 Hz. Dies liegt daran, daß die Eigenschwingungszahlen wichtiger Körperteile und Organe, wie Wirbelsäule, Magen und Nieren, in diesem Bereich liegen, **Bild 10**. Es gilt daher, die Schwingungen des Fahrzeuges in diesem Bereich so abzubauen, daß sie den Fahrer nicht schädigen und die Arbeit nicht nennenswert beeinträchtigen. Als Maß für die Belastung (Beanspruchung) hat man die Wahrnehmungsstärke  $K$  eingeführt [25]. Sie wird durch Versuche ermittelt und ist nach der VDI-Richtlinie 2057, **Bild 11**, im Bereich bis 5 Hz etwa der Beschleunigung proportional.

In der Mitte des Bildes sind aus Messungen gewonnene  $K$ -Zahlen für LKW- und Schlepperfahrer nach *Christ* und *Dupuis* dargestellt [22]. Wenn man davon ausgeht, daß eine Arbeit bei  $K$ -Zahlen von über 35 meist nicht mehr möglich und im Bereich von  $10 < K < 35$  nur kurzfristig vertretbar ist, ergibt sich, daß technische Maßnahmen zur Verringerung der Schwingungsbeanspruchung notwendig sind. Auf entsprechende Arbeiten von *Haack* [26], *Mitschke* [27] und *Wendeborn* [28] sei hingewiesen.

Die sicherste Methode zur Verminderung der Belastung besteht darin, die Fahrgeschwindigkeit der jeweiligen Fahrbahn anzupassen. Wegen dieser Möglichkeit ist es problematisch, feste Grenzen für die Schwingungsbeanspruchung auf dem Verordnungswege durchzusetzen. Andererseits ist zu berücksichtigen, daß die Fahrgeschwindigkeit einen bedeutenden kostenmäßigen Einfluß ausübt. Daher sind Konstruktionen zur Verringerung der Schwingungsbeanspruchung von grundsätzlichem Interesse.



**Bild 10.** Eigenfrequenzen von Organsystemen des aufrecht sitzenden Menschen (nach Deutz).



**Bild 11.** Wahrnehmungsstärke K bei einer Belastung durch Sinus-schwingungen, VDI 2057 (links im Bild), K-Werte für einige Fahrzeuge und Arbeitsmaschinen (in der Bildmitte), Auswirkungen einer Schwingungsbelastung auf die Arbeit (rechts im Bild).

Schwingungen lassen sich durch passive Elemente, wie Federn und Dämpfungselemente, und durch aktive Elemente, die mit Hilfe von Fremdenergie arbeiten, verringern.

Beim Schlepper mit ungefederter Hinterachse bestehen die passiven Elemente aus den Reifen, der Vorderachs- und der Sitzfederung.

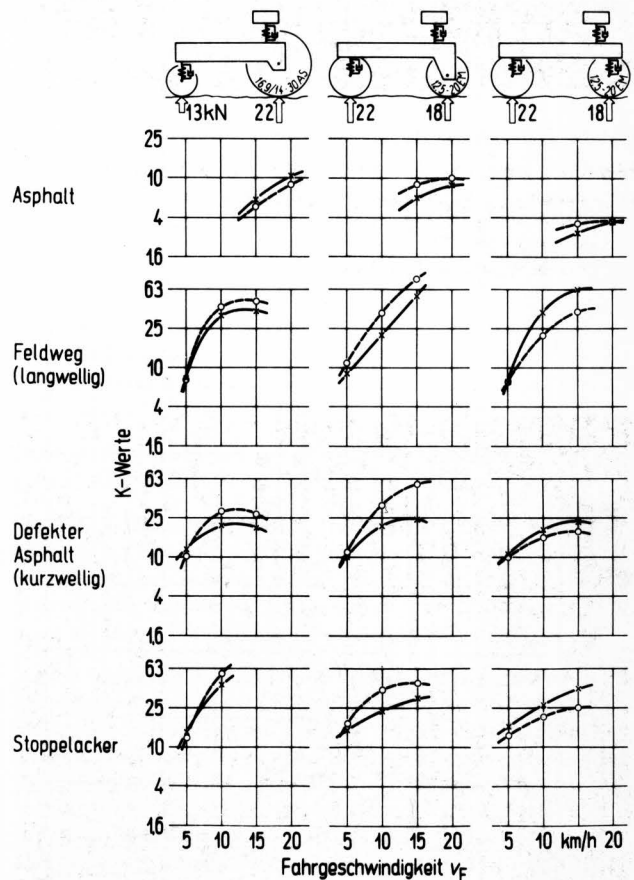
Durch den Luftdruck läßt sich die Wahrnehmungsstärke beispielsweise von  $K = 20$  auf  $K = 15$  senken, wie Jensen [29] gezeigt hat. In der Konstruktion der Reifen liegen also gewisse, wenn auch begrenzte, Möglichkeiten.

Die Frage, ob eine Hinterachs-federung auch für Schlepper Vorteile bringt, läßt sich nur in Verbindung mit der Fahrbahn, der Geschwindigkeit und den Abhängigkeiten zwischen Schlepper und Gerät beantworten.

Um weitere Kriterien zur Beantwortung dieser Frage zu erhalten, wurden Versuche mit Schleppern durchgeführt, deren Aufbau in Bild 12 oben im Schema angegeben ist. In allen Fällen wurde aus Versuchsgründen der gleiche Sitz mit einer Eigenschwingungszahl von 1,8 Hz gewählt. Bei dem mit dem Schema in der Mitte und rechts beschriebenen Fahrzeug handelt es sich um die gleiche Bauart. In einem Fall ist nur die Hinterachs-federung blockiert. Gemessen wurde die Beschleunigung am Fußpunkt des Sitzes (Block oder Rahmen) und an der Sitzschale. Die Berechnung der K-Zahlen wird in Abschnitt 3.1.1 erläutert.

Es ergibt sich, daß der Schlepper mit gefederter Hinterachse auf Fahrbahnen wie Straßen die bekannten Vorteile bietet. Bei landwirtschaftlichen Fahrbahnen ist zu berücksichtigen, daß die Schwingungsanregung wegen der Amplitudenverteilung der Fahrbahnebenenheiten und der Fahrzeuggeschwindigkeit im niedrigen Frequenzbereich liegt. Dies erfordert entsprechend niedrige Eigenfrequenzen der Federung. Mit Rücksicht auf die Arbeitsgeräte sind die zulässigen Federwege für die Hinterachse jedoch begrenzt. Auch für die Sitzwege gibt es Grenzen. Hieraus wird verständlich, daß die Unterschiede zwischen den K-Zahlen für die Sitzschale bei ungefederter und den für den Fußpunkt bei gefederter Hinterachse nicht sehr groß sind. Für Fahrzeuge mit gefederter Hinterachse sind Sitzfederungen mit Eigenfrequenzen zu wählen, die ausreichend von der Eigenfrequenz für die Achsfederung verschieden sind.

Aus den Ergebnissen ist weiter zu folgern, daß elastisch befestigte Kabinen mit niedriger Eigenfrequenz auf Schleppern mit ungefederter Hinterachse Beachtung verdienen [30]. Inwieweit sich die niedrigen Eigenfrequenzen zwischen etwa 0,5 bis 1 Hz störend auswirken (Seekrankheit), ist noch zu prüfen.



**Bild 12.** K-Werte für Schlepper mit gefederter und ungefederter Hinterachse bei verschiedenen Fahrbahnen und Fahrgeschwindigkeiten.

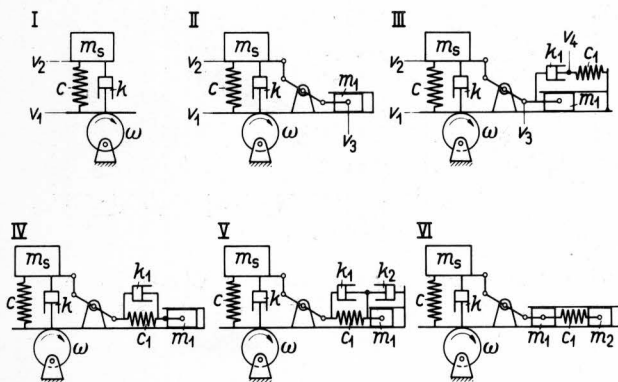
Die Ordinaten sind logarithmisch geteilt  
 x — x K-Werte für die Sitzschale  
 o — o K-Werte für den Fußpunkt des Sitzes (Rahmen, Block)

Aber auch die Weiterentwicklung von Sitzen mit passiven Elementen ist von Interesse. So hat *M. Graef* die Ankopplung weiterer Elemente an das klassische Feder-Masse-System untersucht [31]. Von den in **Bild 13** dargestellten Systemen ist das unter III erwähnte aussichtsreich. Das **Bild 14** zeigt Vergrößerungsfaktoren für dieses System im Vergleich zu herkömmlichen Anordnungen.

Es ergibt sich oberhalb von etwa 1,5 Hz eine wesentliche Verbesserung, unterhalb jedoch eine Verschlechterung. Der Bereich um 1 Hz ist aber weniger kritisch. Das praktische Modell wird derzeit erprobt.

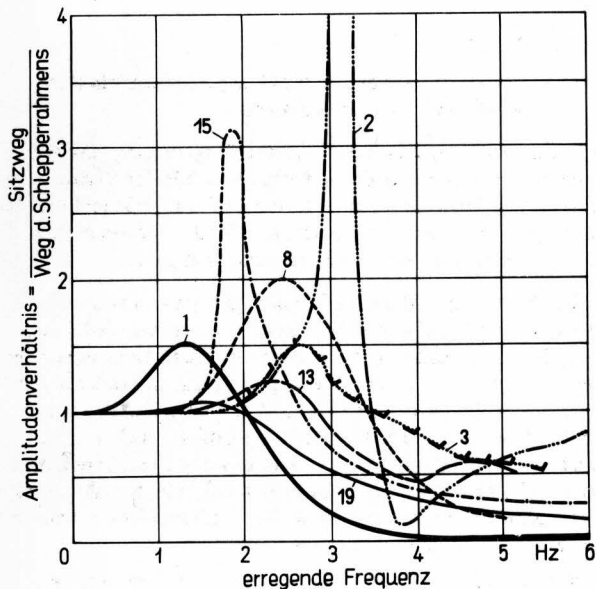
Auf Grund der Ergebnisse nach **Bild 12** empfiehlt es sich, Sitzfederungssysteme mit verstellbarer Eigenfrequenz zur Anpassung an die Fahrbahn zu durchdenken.

Da auf Fahrzeugen neben vertikalen auch Wank- und Nickschwingungen auftreten, ist auch die Anordnung des Fahrerplatzes von Einfluß [33].



**Bild 13.** Fußpunktangeregte Schwinger mit Zusatzsystemen, nach *Graef* [31].

$m$  = Masse  $k$  = Dämpfungsfaktor  
 $c$  = Federkonstante  $v$  = Geschwindigkeit  
 $\omega$  = Winkelgeschwindigkeit



**Bild 14.** Amplitudenverhältnis für verschiedene Sitzkonstruktionen.

Kurven 2 ÷ 19 verschiedene Sitzkonstruktionen, Meßwerte nach *Dupuis* [32].  
 Kurve 1 System III nach **Bild 13**

Erste Versuche mit aktiven Elementen, z.B. einem Regelkreis zur Ausregelung der durch die Fahrzeugbewegungen verursachten Störschwingungen am Sitz, stammen von *Wendeborn* [28], *Bender* [34] und *Coermann* [35]. Es treten Schwierigkeiten insbesondere bei höheren Frequenzen auf. In neueren Arbeiten [36] sind Fortschritte noch nicht zu erkennen.

### 3.1.1 Bestimmung des K-Wertes bei stochastischer Anregung

Als Maß für die subjektive Wahrnehmung von mechanischen Schwingungen auf den Menschen wird die Wahrnehmungsstärke  $K$  (auch als  $K$ -Wert bezeichnet) definiert (VDI 2057). Sie gilt streng genommen nur für eine sinusförmige Schwingungsanregung.

Da für stochastische Schwingungsanregung [37] noch kein Kriterium für die subjektive Wahrnehmung von mechanischen Schwingungen festgelegt ist, kann für diese Fälle die Wahrnehmungsstärke  $K$  nur als Anhaltspunkt dienen.

Hierbei ist der für einen Frequenzbereich geltende  $K_{ges}$ -Wert aus den  $K_i$ -Werten für Einzel Frequenzen zu berechnen. Die  $K_i$ -Werte erhält man aus einer Frequenzanalyse der über der Zeit gemessenen Beschleunigung.

Zur Ermittlung des  $K_{ges}$ -Wertes ergibt sich folgender Weg:

1. Messen der vertikalen Beschleunigung  $a$  als Funktion der Zeit  $t$  an verschiedenen Meßstellen (Sitzschale, Fahrzeugrahmen).
  2. Zerlegen der regellosen Beschleunigung  $a$  durch Frequenzanalyse in Sinusschwingungen für diskrete Frequenzen  $f_i$  im gewählten Bereich 0,9 ÷ 8 Hz bei einer Bandbreite von  $\pm 10\%$  von  $f_i$ .
- Der Beschleunigungsanteil  $a_{fi}$  für die Frequenz  $f_i$  ist dann

$$a_{fi} = a_{oi} \sin(\omega_i t + \varphi_i)$$

mit:  $a_{oi}$  Beschleunigungsamplitude  
 $\omega_i = 2\pi f_i$  Kreisfrequenz  
 $\varphi_i$  Phasenverschiebung  
 $t$  Zeit.

Die Gesamtbeschleunigung  $a$  setzt sich aus den Beschleunigungsanteilen  $a_{fi}$  zusammen:

$$a = \sum_i a_{oi} \sin(\omega_i t + \varphi_i).$$

### 3. Berechnung des quadratischen Mittelwertes $a_i$ von $a_{fi}$ :

$$a_i^2 = \frac{1}{T} \int_0^T a_{oi}^2 \sin^2(\omega_i t + \varphi_i) dt$$

$$a_i = \sqrt{a_i^2}$$

$T$  Gesamtzeit

### 4. Berechnung der $K_i$ -Werte für die Frequenzen $f_i$ im Bereich 0,9 ÷ 8 Hz (nach VDI 2057)

$$K_i = a_i a / \sqrt{1 + (f_i / f_0)^2}$$

mit:  $a = 18 (K_i\text{-Wert}) / (m/s^2)$

$$f_0 = 10 \text{ Hz}$$

### 5. Berechnung des $K_{ges}$ -Wertes für den Frequenzbereich 0,9 ÷ 8 Hz aus (nach *Mitschke* [27]):

$$K_{ges} = \sqrt{\sum_i K_i^2}$$

zum Vergleich des Sitzkomforts für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten und Fahrzeugabfederungen.



### 3.2 Minderung der Lärmbelastung des Fahrers

#### 3.2.1 Einige Begriffe der Akustik (Luftschall) [38, 39, 40]

Eine wichtige Größe zum Beschreiben des Schalls oder hier des Lärms ist die Schallstärke oder die Schalleistungsdichte. Es ist dies die durch eine Flächeneinheit senkrecht hindurchgehende Schalleistung. Das menschliche Ohr kann Schallenergien im Bereich der Schalleistungsdichte zwischen  $10^{-16}$  und  $10^{-3} \text{ W/cm}^2$  wahrnehmen, wobei der Wert von  $10^{-3} \text{ W/cm}^2$  der Föhlschwelle entspricht. Um diesen Bereich von 13 Zehnerpotenzen handlicher zu gestalten, wählt man ein Relativmaß, nämlich den Schalleistungspegel, der definiert ist als  $L_p = 10 \lg I/I_0$  mit der Zählheit Dezibel (dB).

Von dem Schalleistungspegel zu unterscheiden ist der Lautstärkepegel, der ein Maß ist für die subjektive Stärke der Wahrnehmung, Bild 15. Nach DIN 1318 ist der Lautstärkepegel zahlenmäßig gleich dem Schalleistungspegel eines gleichlaut wahrgenommenen 1000 Hz-Tones. Angaben für den Lautstärkepegel werden mit dem Wort phon gekennzeichnet.

Die von der Frequenz abhängige subjektive Beurteilung erfolgt zunehmend mit den genormten Bewertungskurven A, B, C und D [41]. Man spricht dann von einem bewerteten Schalleistungspegel mit der Kennzeichnung z.B. dB (A).

Die Lautheit soll der Stärke der Schallwahrnehmung proportional sein. Man hat diesen Begriff nach DIN 45630 an den Lautstärkepegel geknüpft. Für 1000 Hz entspricht eine Änderung des Lautstärkepegels um 10 dB einer Verdopplung bzw. Halbierung der Wahrnehmungsstärke. Die entsprechende Sone-Skala ist in Bild 15 rechts angegeben.

Die wichtigsten Maßnahmen zur Lärminderung beinhalten eine Verkleinerung der Schallquelle, die Schalldämpfung und die Schalldämmung.

Die Fortpflanzung von Schall erfolgt sowohl über den Körper- als auch über den Luftschall. Unter Schalldämpfung oder Schallabsorption versteht man die Umwandlung von Schallenergie in andere Energieformen. Mit Schalldämmung wird die Verringerung der Schallintensität bei Durchgang durch eine Wand erfaßt.

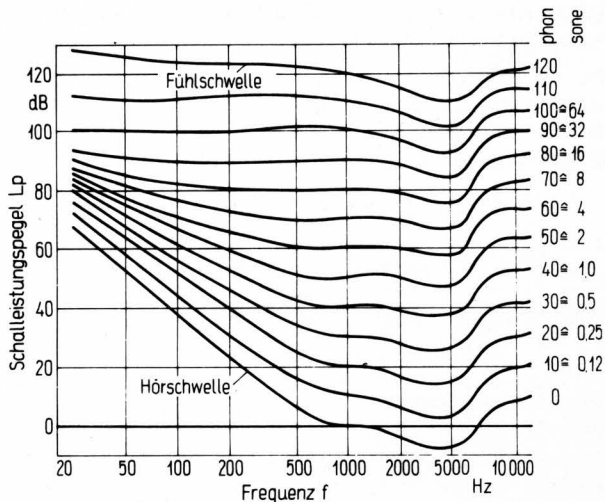


Bild 15. Frequenzgang des Gehörs bei Anregung mit Tönen unterschiedlicher Amplitude, rechts: Zuordnung von phon und sone. (Auch andere Zuordnungen werden benutzt)

#### 3.2.2 Technische Maßnahmen zur Lärminderung [42]

Über die Lärmbelastung insbesondere von Schlepperfahrern liegen zahlreiche Messungen vor [21, 43 bis 46]. Das Bild 16 zeigt einige Ergebnisse. Mit diesem Bild ist keine Bewertung von Bauarten verbunden. So gibt es luftgekühlte Schlepper, die leiser sind

als wassergekühlte. Die Ergebnisse besagen insgesamt, daß die angestrebte Grenze [41, 46], nämlich ein Gesamtschallpegel von 90 dB (A) am Fahrerohr, meist überschritten wird. Da ferner auch Lärmbegrenzungen aus Gründen des Umweltschutzes zu erwarten sind, besteht das Anliegen, den Lärm von Schleppern und Arbeitsmaschinen zu senken.

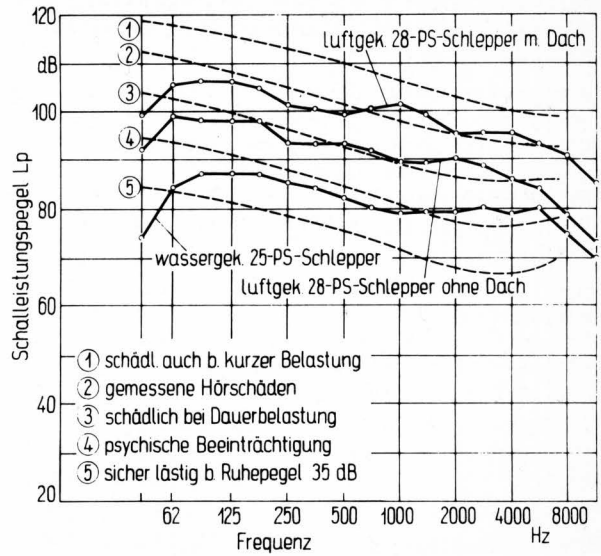


Bild 16. Geräuschbelastungen, gemessen am Ohr des Schlepperfahrers nach Freidank [42]. Die Kurven 1 ÷ 5 sind Bewertungen nach Meister [47].

Wenn man nach den technischen Möglichkeiten für diese Aufgabe fragt, so ist von den Schallquellen auszugehen. Diese sind ohne Berücksichtigung der Arbeitsgeräte:

1. Der Verbrennungsvorgang und die dadurch bedingte Schallemission vom Motorblock und den daran befestigten Bauteilen.
2. Der Ansaugvorgang
3. Das Abgas
4. Der Ventilator
5. Die Hydraulik
6. Die Reifen
7. Das Getriebe

Grundsätzlich strebt man an, diese Schallquellen einzeln durch konstruktive Maßnahmen zu verkleinern.

Die Lärmentstehung durch den Verbrennungsvorgang läßt sich u.a. über die Formgebung der Kolben, die Größe des Verbrennungsraumes, die Gestaltung der Ventile, die Drehzahl [43] und die Verbesserung des Massenausgleichs senken. Für den Motorenbauer sind dies derzeit sehr wichtige Entwicklungsaufgaben.

Für die Dämpfung des vom Verbrennungsvorgang ausgehenden Körperschalls gibt es viele Möglichkeiten mit unterschiedlichem Erfolg [38]. Die Auflösung der Blockbauweise mit elastischer Aufhängung des Motors bedingt eine so grundsätzliche Änderung des Baukonzepts, daß man diesen Weg mit als letzten wählen wird. Vermutlich wird der Erfolg dieser Lösung oft auch überschätzt, wie aus Vergleichsmessungen mit dem Unimog zu schließen ist. Andererseits kann man die schallisoliert aufgehängte Fahrerkabine in erweiterter Form, d.h. mit Tank, Verkleidungsblechen usw., als einen Schritt in diese Richtung ansehen.

Das Ansaugeräusch wird oft unterschätzt. Für Kompressoren wurde gezeigt, daß man das Ansaugeräusch durch eine venturiartige Form der Kanäle im Eintrittsbereich wesentlich senken kann, beispielsweise von 108 auf 95 dB [48]. Nun ist beim Schlepper fast immer ein Ansaugfilter vorhanden und wenn dieses Filter nach schalltechnischen Gesichtspunkten ausgelegt wird, kann man diese Quelle als problemlos ansehen.

Die Größe der Auspuffgeräusche hängt von der Bauart und damit von dem Aufwand für den Abgasschalldämpfer ab. Die Konstruktionen sind im wesentlichen bekannt. Es gibt Absorptionsschalldämpfer, Reflexionsschalldämpfer und Interferenzschalldämpfer. Reine Absorptionsschalldämpfer sind selten, und zwar wegen der Verschmutzung und der notwendigen Wartung. Im allgemeinen benutzt man kombinierte Interferenz- und Reflexionsschalldämpfer. Sie ermöglichen es, eine Schalldämpfung auf die geforderten Werte vorzunehmen.

Eine weitere Lärmquelle sind Ventilatoren. Hier lassen sich durch aerodynamische Maßnahmen Verbesserungen erzielen. So wurde beispielsweise für eine Laderaube gezeigt, wie sich durch Übergang auf ein mehrflügeliges Gebläserad die Geräusche um etwa 5 Dezibel senken lassen [49].

Nicht zu unterschätzen ist die Hydraulik, Bild 17. Für diesen Bereich zeigt Langosch an Axial- und Konstantdruck-Flügelzellenpumpen, daß man den Schallpegel über konstruktive Maßnahmen senken kann [50].

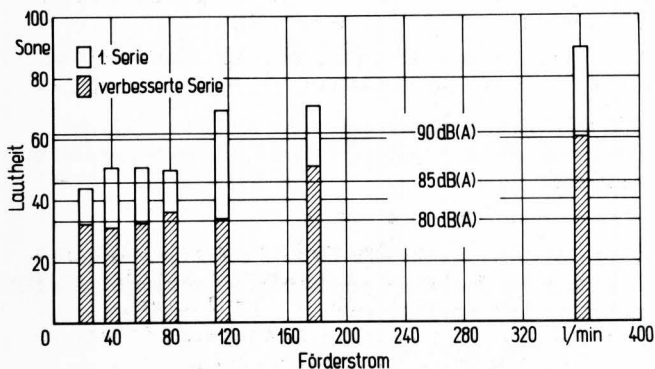


Bild 17. Lärmentwicklung bei Axialkolbenverstellpumpen nach Langosch [50].

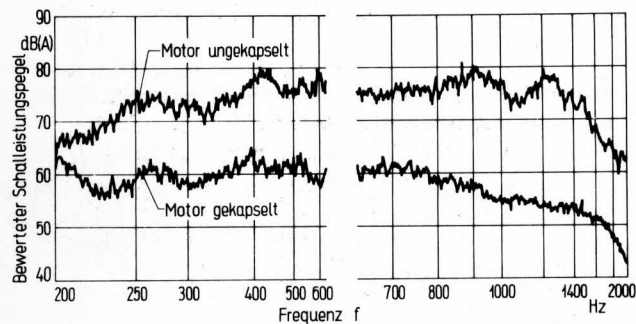


Bild 18. Lärminderung bei einem Omnibus durch Kapselung des Motors nach Krämer [51], Abstand 7 m.

Für Konstruktionen, die eine solche Maßnahme zulassen, kann auch eine Kapselung der Lärmquelle infrage kommen. Solche Kapselungen sind mit Erfolg für Kompressoren, Laderauben und Omnibusse entwickelt worden. Wir beschränken uns auf den Omnibus als ein Beispiel.

Ausgehend von der Aufgabe, daß Kapselungen eine Schalldämmung und -dämpfung bewirken sollen, bestehen diese aus einer tragenden Blech- oder Kunststoffwand mit einem möglichst hohen Dämmwert und darauf aufgetragenen offenporigen, schallabsorbierenden Stoffen.

Ein gewisses Problem ist der Schutz der offenporigen Schalldämpfstoffe gegen Angriffe durch Staub oder Öl. Es gibt aber Kunststoffe, mit denen sich dieses Problem lösen läßt. Im Bild 18 ist der Erfolg einer Motorkapselung bei einem Omnibus dargestellt [51]. Die Frequenzspektren zeigen die starke Minderung des Lärms. Durch eine Kapselung entstehen u.U. neue Probleme, wie eine notwendig werdende verstärkte Wärmeabfuhr durch den Kühler. Aus diesem Hinweis geht hervor, daß eine Kapselung nicht völlig geschlossen sein kann. Dies ist auch nicht notwendig, wenn man Schalldämmung und Schalldämpfung entsprechend aufeinander abstimmt.

Zusammenfassend ist zur Lärmbekämpfung auszuführen, daß die Bestrebungen grundsätzlich dahin gehen, die einzelnen Lärmquellen zu mindern. Eine Kapselung kann eine Lösung bringen, wenn nicht andere Quellen, wie die Hydraulik oder das Getriebe, für den Gesamtpegel mitbestimmend sind und sich eine solche Lösung von der Motoranordnung her anbietet. Elastisch aufgehängte schallisolierte Fahrerinnen geben die Möglichkeit, den Fahrer zu schützen. Da aber auch Forderungen von Seiten des Umweltschutzes gestellt werden, ist die Kabine nur zum Schutz des Fahrers keine allgemeine Lösung.

### 3.3 Verbesserung des Klimas für den Fahrer

Eine Gestaltung des Klimas für den Fahrer setzt eine Fahrerkabine voraus. Im einfachsten Fall ist diese so ausgebildet, daß ein Schutz gegen Regen, Wind und Sonneneinstrahlung erreicht wird. Will man aber auch Temperatur und Feuchtigkeit einstellen, dann ist eine geschlossene Kabine mit Klimaanlage erforderlich. Auf eine Abschirmung gegen Strahlungswärme ist zu achten. Grundsätzliche technische Probleme treten bei solchen Anlagen nicht auf.

Der für die Klimaanlage notwendige Kompressor mit einem Kraftbedarf bis etwa 2 kW wird oft mit einem Keilriemen vom Motor angetrieben. Daher kann das Ankoppeln des Kompressors über eine magnetische Kupplung erfolgen. Aber auch hydraulische und elektrische Antriebe finden Anwendung.

### 3.4 Schutz des Fahrers vor luftfremden Stoffen

Schädliche oder lästige luftfremde Stoffe am Arbeitsplatz des Fahrers sind meistens gasförmige Stoffe aus dem Verbrennungsprozeß des Motors und feste, schwebende Teilchen (Staub) aus dem Arbeitsprozeß, den Motorabgasen und solchen, die von der Fahrbahn aufgewirbelt werden.

Über die zulässigen Anteile von Fremdstoffen in der Luft am Arbeitsplatz gibt es Richtwerte, die MAK-Werte (Maximale-Arbeitsplatz-Konzentration) [52, 53, 54]. Hinsichtlich der MAK-Werte für gasförmige Fremdstoffe gibt Tafel 2 einige Werte.

Stoff	Kohlenmonoxid	Stickstoffdioxid	Schwefeldioxid
Konzentration mg/m <sup>3</sup>	20 ÷ 62,5	10	13
	je nach Zeitdauer der Einwirkung		

Tafel 2. Einige MAK-Werte [57].

#### 3.4.1 Staubbörmige luftfremde Stoffe

Für Staub wird angestrebt, daß die Konzentration am Arbeitsplatz  $2 \div 15 \text{ mg/m}_n^3$  nicht überschreitet. Auf Mähreschern und Schleppern sind bei bestimmten Arbeiten Konzentrationen um das  $10^3$ -fache des genannten Wertes festgestellt worden.

Ein Schutz gegen Staub ist nur durch Fahrerinnen möglich. Für die Reinigung der Zuluft bieten sich Filtrationsentstauber an [55]. Hauptbestandteil dieser Entstauber sind poröse Gewebe oder Faserschichten, in denen der Staub beim Durchströmen abgeschieden



wird. Der Druckverlust liegt meist unter 3 mbar. Die Belastbarkeit solcher Filterstoffe, die in Klimaanlage eine breite Anwendung finden, liegt um  $3000 \text{ m}^3/\text{h m}^2$  bei Anströmgeschwindigkeiten bis  $1 \text{ m/s}$ . Setzt man für Fahrerinnen einen Frischluftbedarf bis  $300 \text{ m}^3/\text{h}$  an, so sind Filterflächen bis  $0,1 \text{ m}^2$  vorzusehen. Für diese Abmessungen bereitet eine ausreichende Schalldämpfung des Frischluftkanals keine besonderen Schwierigkeiten.

### 3.4.2 Gasförmige luftfremde Stoffe

Nicht so einfach ist ein Schutz vor gasförmigen Fremdstoffen [56]. Das sonst bewährte Auswaschen ist nicht anwendbar. Zu denken ist noch an eine Absorption durch Schichten beispielsweise aus Aktivkohle. Problematisch hierbei ist aber das Bestimmen der Standzeit bzw. der Sättigung. Es verbleiben somit praktisch nur zwei Wege, nämlich Einengen der entstehenden Fremdstoffmenge und Verdünnung der Fremdstoffe.

Der Vorgang der Verbrennung mit ausreichendem Luftüberschuß beim Dieselfahren ermöglicht es, den Anteil an giftigen Stoffen im Abgas durch Optimierung des Verfahrens soweit zu senken, daß die entsprechenden Kennwerte eines mit Erdgas betriebenen Motors fast erreicht werden. Auch die Rußentwicklung beim Lastwechsel, und nur dann darf sie auftreten, läßt sich noch senken.

Hinsichtlich der Verdünnung ist der Abstand des Fahrers vom Auspuff und die Auspuffrichtung entscheidend. Das Bild 19 zeigt einige von Biller zusammengestellte Daten. Der Abstand liegt zwischen etwa 1,5 und 2,5 m.

Die Frage, ob durch diese Entfernung und je nach Art und Umfang der Emission eine ausreichende Verdünnung sichergestellt wird, läßt sich bisher nur durch eine Abschätzung beantworten [57]. Bei den allgemein vorliegenden Bedingungen ergeben sich nach dem derzeitigen Stand des Wissens gasförmige Fremdstoffanteile in der Luft, die unter den MAK-Werten liegen.

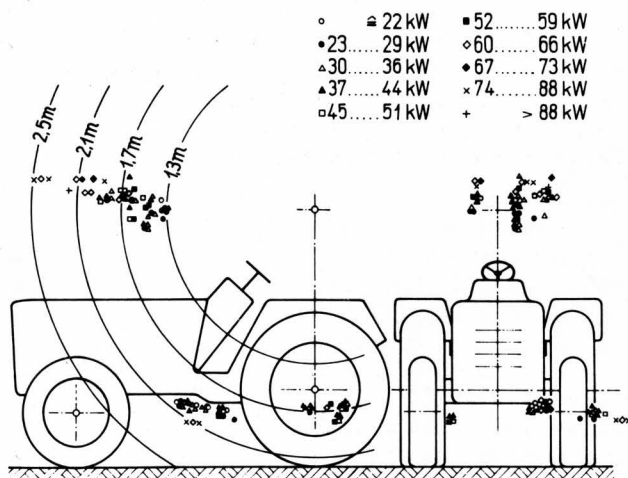


Bild 19. Ort des Abgasaustritts bei derzeit eingesetzten Schleppern nach Biller [57].

Eine Belästigung des Fahrers durch Ruß, Geruch und heiße Abgase tritt abhängig von der Anordnung des Abgasaustritts, den Luftbewegungen und der Fahrtrichtung in unterschiedlicher Stärke auf.

Ein weiteres Senken der Fremdstoffanteile in der Luft am Arbeitsplatz ist daher grundsätzlich anzustreben. In der Anordnung und Gestaltung des Auspuffs liegen sicher gewisse Möglichkeiten. Die Ergebnisse laufender Forschungsarbeiten in diesem Bereich werden daher mit Interesse erwartet. — Zwangsbelüftete Fahrerinnen ermöglichen eine Verbesserung dadurch, daß der Ort der Frischluftentnahme in Bezug auf den Auspuff an eine günstige Stelle gelegt werden kann.

## 4. Schlußfolgerungen

Die Entwicklung der Arbeitsbedingungen außerhalb der landwirtschaftlichen Produktion führt dazu, daß die Arbeitserleichterung für die Fahrer von Schleppern und selbstfahrenden Arbeitsmaschinen einen Schwerpunkt beim technischen Fortschritt dieser Maschinen bildet.

In Bezug auf die produktive Arbeit wird die zunehmende Automatisierung zu einer wesentlichen Arbeitserleichterung führen. Fernziel ist die vollständige Automatisierung.

Bei der Gestaltung des Arbeitsplatzes ist eine weitere Differenzierung auch durch neuartige Konzeptionen zu erwarten. Zu diesen Neuerungen gehören Fahrerinnen mit den unterschiedlichsten Ausstattungen. In einigen Fällen wird sich diese Kabine zu einem Überwachungsstand entwickeln, der dazu dient, alle automatisierten Funktionsabläufe in Gang zu setzen, zu überwachen und zu beenden.

Die Lärminderung wird sich auf alle Bauteile der Fahrzeuge erstrecken. Die Kabine als Lärmschutz ausschließlich für den Fahrer ist als eine Zwischenlösung anzusehen. Die gesetzlichen Bestimmungen sollten eine solche isolierte Lösung nicht fördern.

Eine weitere Minderung der Beanspruchung durch mechanische Schwingungen ist zu fordern. Die Möglichkeiten dazu, aber auch die Schwierigkeiten sind recht vielschichtig.

Die konventionelle Bauweise mit einer technischen Weiterentwicklung im Detail wird auch in Zukunft einen bedeutenden Platz einnehmen.

## Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] Tolle, A.: Meßverfahren zur Beurteilung der arbeitshygienischen Belastung. Landbauforschung Völknerode Sonderheft 15 (1972) (230 Schrifttumshinweise).
- [ 2 ] Batel, W.: Grundsätzliche Überlegungen zur Automatisierung der landwirtschaftlichen Produktion. Grndl. Landtechnik Bd. 18 (1968) Nr. 1, S. 14/20.
- [ 3 ] Batel, W., G. Jahns u. F. Schoedder: Der technische Fortschritt in der Landtechnik. Landbauforschung Völknerode Sonderheft 14 (1972) S. 58/65.
- [ 4 ] Batel, W.: Automatisierung in der landwirtschaftlichen Produktion. Landbauforschung Völknerode Sonderheft 17 (1973) S. 1/6.
- [ 5 ] —: Neuerungen in der Landtechnik auf der 52. DLG-Ausstellung in Hannover vom 28. Mai bis 4. Juni 1972. Grndl. Landtechnik Bd. 22 (1972) Nr. 5, S. 129/47.
- [ 6 ] Hesse, H. u. R. Möller: Experimentelle und simulierte Untersuchung eines elektrohydraulischen Pflugregelsystems. Grndl. Landtechnik Bd. 18 (1968) Nr. 5, S. 177/84.
- [ 7 ] Hesse, H. u. R. Möller: Eine elektrohydraulische Zwei-Größen-Tiefenregelung für große Schlepperranbaupflüge. Grndl. Landtechnik Bd. 22 (1972) Nr. 3, S. 75/79 u. Nr. 4, S. 102/06.
- [ 8 ] Eimer, M.: Funktion und Arbeitsqualität der drehzahlregulierten Dreschtrommel. Grndl. Landtechnik Bd. 23 (1973) Nr. 6, S. 158/63.
- [ 9 ] Eimer, M.: Neuere Entwicklungen und Ergebnisse zur Steuerung und Regelung des Mähdeschers. Grndl. Landtechnik Bd. 23 (1973) Nr. 2, S. 33.
- [ 10 ] Herbsthofer, F.I.: Wo stehen wir im Mähdescherbau und wie geht es weiter? Vortrag auf der VDI-Tagung < Landtechnik >, Braunschweig, 14./16. 11. 1973.
- [ 11 ] —: Automatisches Lenken von Fahrzeugen in der Landwirtschaft. Landbauforschung Völknerode Sonderheft 17 (1973) S. 1/83.
- [ 12 ] Jahns, G.: Die automatische Lenkung von Landmaschinen und ihre regelungstechnischen Probleme. Landbauforschung Völknerode Sonderheft 17 (1973) S. 7/25. (32 Schrifttumshinweise).

- [ 13 ] *Jahns, G.*: Möglichkeiten zum Erzeugen von Kurssignalen für das automatische Lenken von Landfahrzeugen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 20 (1970) Nr. 3, S. 65/71.
- [ 14 ] *Stansfield, J.R.*: Operator aids to field machinery guidance. *Landbauforschung Völknerode Sonderheft 17* (1973) S. 27/40 (21 Schrifttumshinweise).
- [ 15 ] *Warner, M.G.R. u. G.O. Harris*: An ultrasonic guidance system for driverless tractors. *J.agric.Eng.Res. Bd.* 17 (1972) Nr. 1, S. 1/9.
- [ 16 ] *Jahns, G.*: Theoretische Betrachtungen zu Möglichkeiten und Grenzen induktiver Leitsysteme. *Landbauforschung Völknerode Sonderheft 17* (1973) S. 57/69.
- [ 17 ] *Brooke, D.W.I.*: A practical implementation of a wide wire tractor guidance system. *Landbauforschung Völknerode Sonderheft 17* (1973) S. 71/81.
- [ 18 ] *Hesse, H. u. R. Möller*: Automatische Lenkung eines Mähdreschers mit mechanischen Fühlern. *Landbauforschung Völknerode Sonderheft 17* (1973) S. 41/56.
- [ 19 ] *Batel, W. u. R. Thiel*: Über die selbsttätige Regelung an Landmaschinen. *Grundl. Landtechnik* Heft 14 (1962) S. 5/13.
- [ 20 ] *Mathews, I. u. A.A. Knight*: Ergonomics in agricultural equipment design. *National Institute of Agricultural Engineering, Silsoe, Sept.* 1971.
- [ 21 ] *Rosegger, R. u. S. Rosegger*: Arbeitsmedizinische Erkenntnisse beim Schlepperfahren. *Arch. f. Landtechnik* Bd. 2 (1960) Nr. 1, S. 3/65.
- [ 22 ] *Christ, W. u. H. Dupuis*: Beanspruchung des Menschen durch Fahrzeugschwingungen. *VDI-Berichte* 69 (1963) S. 57/62.
- [ 23 ] *Dupuis, H.*: Zur physiologischen Beanspruchung des Menschen durch mechanische Schwingungen. *Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 11* Nr. 7. Düsseldorf: VDI-Verlag 1969.
- [ 24 ] *Jansen, G.*: Nachweis von Lärmwirkungen. *Zentralblatt für Bakteriologie, orig. B., Hygiene*, 155 (1971).
- [ 25 ] *VDI-Richtlinie 2057*: Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1963.
- [ 26 ] *Haack, M.*: Über die günstigste Gestaltung der Schleppersitzfederung bei luftbereiften Ackerschleppern mit starrer Hinterachse. *Landtechn. Forsch. Bd. 3* (1953) H. 1, S. 1/13.
- [ 27 ] *Mitschke, M.*: Ein Beitrag zur Untersuchung der Fahrzeugschwingungen (Theorie u. Versuch). *Dt. Kraftfahrtforsch. u. Straßenverkehrstechn. H. 157* Düsseldorf: VDI-Verlag 1962.
- [ 28 ] *Wendeborn, J.O.*: Mechanische Schwingungen auf Ackerschleppern und ihre Wirkungen auf den Fahrer. *Grundl. Landtechnik* Bd. 19 (1969) Nr. 2, S. 47/55.
- [ 29 ] *Jensen, U.*: Messen des Federungskomforts von Fahrzeugen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 21 (1971) Nr. 4, S. 97/100.
- [ 30 ] *Suggs, Ch.W. u. B.K. Huang*: Tractor cab suspension design and scale model simulation. *ASAE-Paper* Nr. 69 - 118 (1969).
- [ 31 ] *Graef, M.*: Ermittlung der Schwingungseigenschaften von Sitzsystemen mit dem Analogrechner, Vortrag auf der VDI-Tagung < Landtechnik >, Ulm, 6.10.1970.
- [ 32 ] *Dupuis, H. u. E. Hartung*: Schleppersitz-Untersuchungen mit Hilfe eines servohydraulischen Schwingungssimulators. *Landtechn. Forsch. Bd. 16* (1966) S. 163/71.
- [ 33 ] *Schilling, E.*: Experimentelle und schwingungstheoretische Ermittlung von Kräften an selbstfahrenden Mähdreschern zur Verbesserung ihres Entwurfs und ihrer Konstruktion. *Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 14* Nr. 13. Düsseldorf: VDI-Verlag 1970.
- [ 34 ] *Bender, E.K.*: Optimum linear preview control with application to vehicle suspension. *Journal of Basic Engineering, Trans. ASME* 1968, S. 213/21.
- [ 35 ] *Coermann, R.R. u. W. Lange*: Untersuchung der Möglichkeit einer aktiven Dämpfung für Fahrzeugsitze. *Grundl. Landtechnik* Bd. 21 (1971) Nr. 1, S. 6/10.
- [ 36 ] *Köpfer, R.*: Zur Bestimmung des erforderlichen Schwingungskomforts in geländegängigen Fahrzeugen und seine Verwirklichung durch aktive Federung. *Grundl. Landtechnik* Bd. 23 (1973) Nr. 5, S. 129/34.
- [ 37 ] *Mitschke, M.*: Schwingempfinden von Menschen im fahrenden Fahrzeug. *ATZ* 71 (1969) Nr. 7, S. 217/22.
- [ 38 ] ● *Kurtze, G.*: Physik und Technik der Lärmbekämpfung. Karlsruhe: Braun 1964.
- [ 39 ] *Käpf, M.*: Grundlagen der Luftschallmeßtechnik. *Ölhydraulik und Pneumatik* Bd. 17 (1973) Nr. 5, S. 150/54.
- [ 40 ] *Blässer, H.*: Der gegenwärtige Stand der Schallmeßtechnik. Teil 1: Messen, Registrieren und Klassieren von Schallpegeln. *VDI-Z. Bd. 112* (1970) Nr. 13, S. 819/25. Teil 2: Automatische Analyse und digitale Verarbeitung akustischer Meßgrößen. *VDI-Z. Bd. 112* (1970) Nr. 18, S. 1222/27.
- [ 41 ] *Weichenrieder, A.*: Untersuchung zur Belastung des Schlepperfahrers durch Lärm. *Grundl. Landtechnik* Bd. 23 (1973) Nr. 5, S. 121/28.
- [ 42 ] ● *VDI-Handbuch Lärminderung*. Düsseldorf: VDI-Verlag 1973. Zu beziehen durch Beuth-Vertrieb Berlin u. Köln.
- [ 43 ] *Freidank, K.-A.*: Ergebnisse von Geräuschemessungen an landwirtschaftlichen Maschinen. *Kampf dem Lärm* Bd. 9 (1962) Nr. 4, S. 105/08.
- [ 44 ] *Madouar, B.*: Lärminderung an Ackerschleppern. Vortrag auf der VDI-Tagung < Landtechnik >, München 11./13. 10. 1972.
- [ 45 ] –: Wie laut sind Schlepper? *DLZ - Die Landtechnische Zeitschrift* Bd. 24 (1973) Nr. 5, S. 250/54.
- [ 46 ] *Wischhoff, H.J.*: Die zukünftige Entwicklung des Geräuschschutzes an Ackerschleppern aus der Sicht nationaler und internationaler Anforderungen. Vortrag auf der VDI-Tagung < Landtechnik >, Braunschweig, 14./16.11.1973.
- [ 47 ] *Meister, F.-J.*: Schallpegel, Lautheit, Lästigkeit und Schädigung bei Geräuschbelastung des Ohres. *VDI-Z. Bd. 99* (1957) Nr. 8, S. 329/34.
- [ 48 ] *Stapel, A.*: Schalldämpfung: leise, leiser ... *Fluid* Bd. 7 (1973) Nr. 4, S. 97/100.
- [ 49 ] *Katte, H.*: Untersuchung über die Geräuschminderung der Kühlanlage einer Laderaue mit Dieselmotor. *ATZ* 73 (1971) Nr. 8, S. 297/300.
- [ 50 ] *Langosch, O.*: Lärmbekämpfung bei hydraulischen Anlagen. *hydraulik forum* (1973) Nr. 1, S. 18/23.
- [ 51 ] *Krämer, W.*: Herabsetzung des Außengeräusches eines Omnibusses durch karosserie seitige Kapselung des Motors. *ATZ* 74 (1972) Nr. 8, S. 311/15.
- [ 52 ] ● –: Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Hrsg.: *D. Hentschler*. Kommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG. Weinheim/Bergstr.: Verlag Chemie 1973.
- [ 53 ] ● *VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft*. Düsseldorf: VDI-Verlag 1972.
- [ 54 ] *Oelert, H.H.*: Aspekte der Emission gasförmiger Oxide aus Kraftfahrzeugen. *Staub-Reinhalt. Luft* Bd. 32 (1972) Nr. 1, S. 12/19.
- [ 55 ] *Batel, W.*: Entwicklungsstand und -tendenzen beim Filtrationsentstauber. *Staub-Reinhalt. Luft* Bd. 33 (1973) Nr. 9, S. 359/67.
- [ 56 ] *Wächter, G.*: Technische Möglichkeiten zur Behandlung oder Abscheidung gasförmiger luftfremder Stoffe – insbesondere im Hinblick auf die Desodorisierung. *Grundl. Landtechnik* Bd. 23 (1973) Nr. 4, S. 92/98.
- [ 57 ] *Biller, R.*: Die physiologische Wirkung der Abgase von Schlepper-Dieselmotoren auf den Fahrer. *Landtechnik* Bd. 28 (1973) H. 17, S. 457/61.