

### Landmaschinen und Ackerschlepper aus arbeitsphysiologischer Sicht

Von Wolf Müller-Limmroth, München\*)

DK 612:331.01:631.3

Die aus den Umweltbedingungen am Arbeitsplatz sich ergebenden Belastungen in Form von mechanischen Schwingungen, Lärm, Klimafaktoren und luftfremden Stoffen sind meßtechnisch relativ gut zu erfassen. Die von diesen externen Belastungen verursachten Beanspruchungen sind dagegen schwieriger zu bestimmen, da dazu in hohem Grade subjektive Einflüsse wie beispielsweise die "Ausgangslage" des Schlepperfahrers und seine Reaktionsempfindlichkeit gegenüber den Belastungsfaktoren zu berücksichtigen sind.

Dieser Beitrag versucht, die grundsätzlichen physiologischen Tatbestände im Wirkungsmechanismus Belastung – Beanspruchung darzulegen.

#### 1. Einleitung

Im Rahmen einer fortschreitenden Verbesserung der Arbeitsbedingungen werden auch die bei landwirtschaftlichen Arbeiten auftretenden Belastungen und Beanspruchungen zunehmend diskutiert. Der Konstrukteur von Landmaschinen und Ackerschleppern ist dabei herausgefordert, mit der Gestaltung der technischen Geräte die Belastungen auf ein vertretbares Maß herabzusetzen. Welches Maß der Belastung allerdings als vertretbar anzusehen ist, kann der Konstrukteur allein nicht entscheiden. Hier ist er auf die Mitwirkung des Arbeitsphysiologen angewiesen, der sich allgemein mit dem Problem befaßt, in welcher Weise eine von der Umwelt

im weitesten Sinne kommende Belastung den Menschen mit seinen zum wohl funktionierenden Organismus integrierten Organsystemen beansprucht. Belastung und Beanspruchung stehen also im Mensch-Maschine-System, hier im Regelkreis "Landwirt-Ackerschlepper-Acker-Landwirt", sich gegenüber. In diesem Regelkreis ist sicherlich der Mensch das schwächste Glied, für ihn gibt es ein Optimum an Beanspruchung, wobei keineswegs nur eine obere, sondern ebenso eine untere Grenze der Beanspruchbarkeit existiert, wie man aus den vielfältigen Analysen von Arbeitsplätzen mit Reizarmut bei gleichzeitiger motorischer, d.h. muskulärer Unterforderung und aus den medizinischen Untersuchungsergebnissen bei monotoner Arbeit weiß.

Es ist folglich das Ziel der gesamten Arbeitswissenschaft, der Ergonomie und vor allem ihres Forschungszweigs "Arbeitsphysiologie", den Arbeitsplatz ebenso wie das Arbeitsmittel zu optimieren. Das aus dem politischen Bereich stammende, die stürmische Entwicklung ergonomischer Forschung dieses Jahrhunderts unberücksichtigt lassende Schlagwort "Humanisierung der Arbeit" sollte darum durch das zwar journalistisch nicht so einprägsame, dafür aber der tatsächlichen Situation gerechter werdende Ziel "Optimierung der Humanfaktoren bei Arbeit" ersetzt werden.

Eine Optimierung des Schlepperfahrens anzustreben setzt die Beantwortung der beiden Fragen voraus, nämlich:

1. welchen Belastungsfaktoren der Schlepperfahrer ausgesetzt ist und
2. welche Organsysteme in welcher Intensität beansprucht werden.

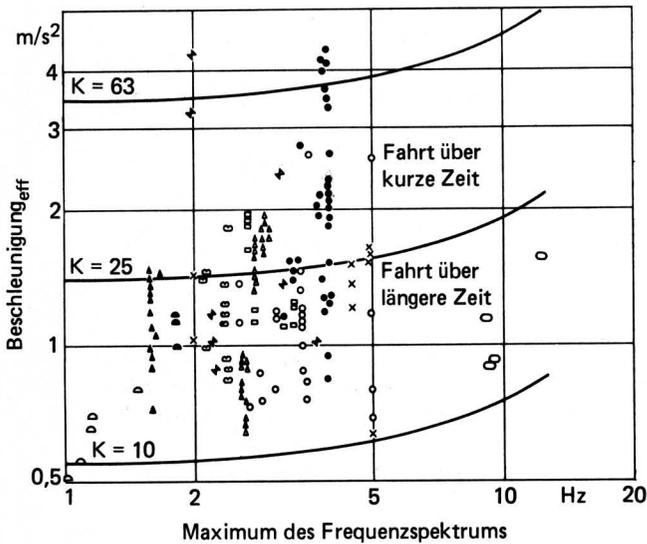
Die Antworten auf beide Fragen werden nicht nur eine Aussage machen können, wann und unter welchen Bedingungen Schlepperfahren möglicherweise krank zu machen vermag. Die aus den Antworten gewonnenen Erkenntnisse vermögen zudem dem für die erste Frage zuständigen Konstrukteur einen Anstoß zur konstruktiven Weiterentwicklung des Fahrzeugs zu geben, dem Arbeitsphysiologen zugleich Hinweise zur Arbeitsorganisation und dem Arbeitsmediziner Hinweise für die Eignungsuntersuchung zu liefern.

\*) Prof. Dr. med. W. Müller-Limmroth ist Direktor des Instituts für Arbeitsphysiologie der TU München.

## 2. Die Belastungsfaktoren

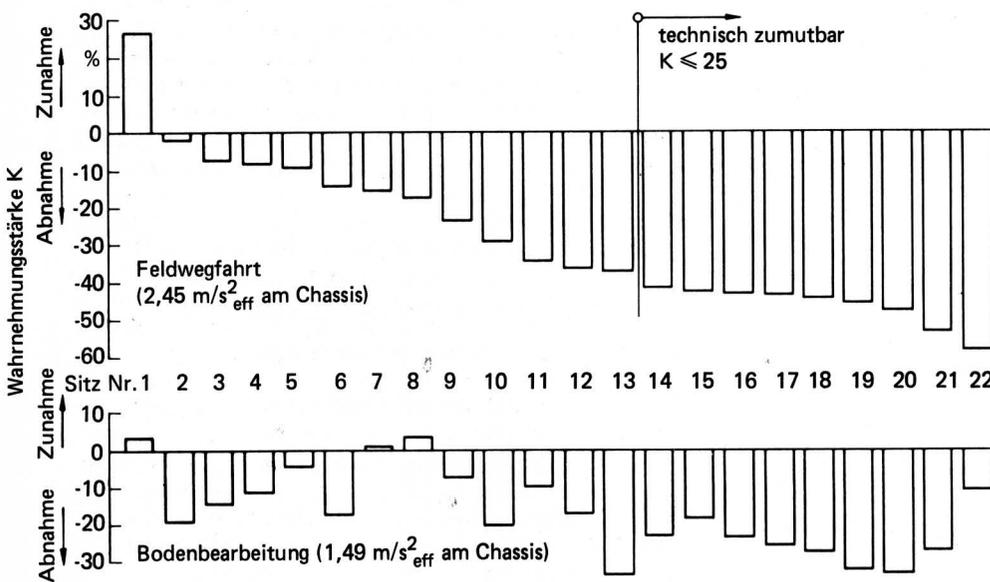
Für den Schlepperfahrer kommen 4 Belastungsfaktoren in Betracht:

1. mechanische Schwingungen
2. Lärm
3. Klima und
4. luftfremde Stoffe (Stäube, Geruchsstoffe, Motorabgase).



**Bild 1.** Effektivwerte der Vertikalbeschleunigungen zwischen Fahrer und Sitz bei verschiedenen Fahrzeugen aufgetragen über der Frequenz, bei der die größte Amplitude beobachtet wurde, nach Dupuis [8].

- |                    |                                   |
|--------------------|-----------------------------------|
| △ Personenwagen    | × Selbstfahrende Arbeitsmaschinen |
| ● Krankenwagen     | ○ Schlepper bei Feldarbeit        |
| □ Kleintransporter | ● Schlepper bei Transporten       |
| ▲ Omnibusse        | ⊖ Allradgedeckte Schlepper        |
| △ Lastwagen        | ○ Kettenschlepper                 |
| ⚡ Erdbaumaschinen  |                                   |



**Bild 2.** Veränderung der vertikalen Schlepperschwingungen in % durch verschiedene Schleppersitze (1–22), nach Dupuis [6].

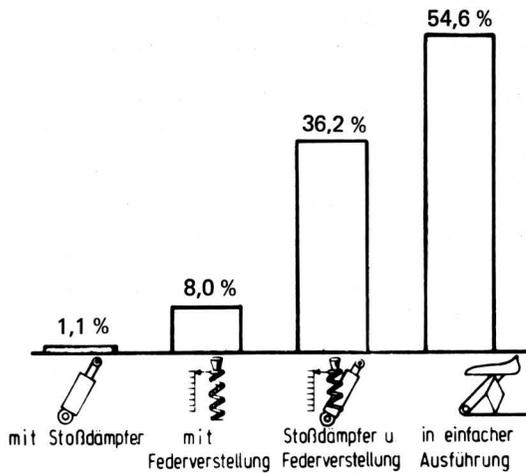
Unter den mechanischen Schwingungen sind die vertikalen und horizontalen Schwingungen sowie ihre Kombination zu berücksichtigen. Wie **Bild 1** zeigt, liegen auf Schleppern die Frequenzen, bei denen die Maximalwerte der Vertikalbeschleunigung auftreten bei 4 Hz. Wesentlich ist ferner, daß sich im Frequenzbereich von 0,5–8 Hz die Kurven gleicher Wahrnehmungsstärke beschleunigungsproportional verhalten. Bekanntlich werden für die Beurteilung solcher Schwingungen die aus den Kurven gleicher Wahrnehmungsstärke abgeleiteten K-Werte herangezogen, die sich nach Kenntnis von Schwingungsgröße, Frequenz und Schwingungsrichtung errechnen lassen. Bei  $K = 0,1$  liegt die Fühlschwelle, ab  $K = 1,6$  ist die Schwingung stark und ab  $K = 4,0$  sehr stark spürbar. Bekanntlich hat der Verband der Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften für Schlepper einen maximal zulässigen K-Wert von 25 festgelegt. Wie **Bild 2** zeigt, führen von 22 mit 3 verschiedenen gewichtigen Fahrern getesteten Schleppersitzen 8 zu einer solchen Abnahme der Schwingungen bei Feldwegfahrt und Bodenbearbeitung, daß der K-Wert gleich oder kleiner als 25 bleibt. Allerdings sind, gerade wegen des nicht selten hohen Nutzungsalters der Schlepper, deren Sitze schlecht sind, **Bild 3**, noch solche Fahrzeuge im Einsatz. Ob jedoch die Einhaltung oder eine geringe Unterschreitung des K-Wertes von 25 für den Schlepperfahrer schon eine Garantie für den Erhalt seiner Gesundheit bedeutet, wird abzuklären sein.

Der 2. Belastungsfaktor ist der Lärm. Nach den Untersuchungsergebnissen von *Batel* muß man beim Schlepperfahren in Kombination mit landwirtschaftlichen Arbeitsgeräten am Ohr des Fahrers mit Schalldruckpegeln von 86–102 dB(A) rechnen [3], wobei das Breitbandgeräusch von Frequenzen zwischen 500 Hz und 2000 Hz beherrscht wird, *Weichenrieder* [20]. Beide Faktoren, Schalldruckpegel und Frequenz, sind bei der arbeitsphysiologischen Bewertung zu berücksichtigen.

Der 3. Faktor Klima ist natürlich schwer zu definieren, da der Schleppereinsatz im Grund bei jeder Witterung erfolgt. Die für den Menschen bedeutsamen Klimafaktoren sind

- Temperatur
- Feuchte und
- Windgeschwindigkeit.

Eigentlich ist der klimaabhängige 4. Faktor "luftfremde Stoffe" hinzuzurechnen. Die zur Bewertung des Belastungsfaktors Staub als luftfremder Stoff getroffene Einteilung in Grob- und Feinstaub, also in Stäube mit Teilchengrößen größer bzw. kleiner als  $5 \mu\text{m}$  Durchmesser ist physiologisch sinnvoll, da nur der Feinstaub "lungengängig" ist. Ferner ist die Staubart wichtig, d.h. ob es sich um mineralische oder organische Stäube handelt. Letztlich wären noch die Geruchsstoffe (Stallmist: Ammoniak, Mercaptane, Amine) und die Abgase des Schleppermotors (Kohlenmonoxid, Stickoxide, Schwefeldioxid) zu nennen.



**Bild 3.** Konstruktionsmerkmale bei 174 benutzten Schleppern (1960–1972). Immerhin haben 36,2 % der benutzten Schlepper Stoßdämpfer und eine Federverstellmöglichkeit, wodurch bei richtiger Einstellung ein gutes Schwingungsverhalten ermöglicht wird, nach Dupuis und Christ [7].

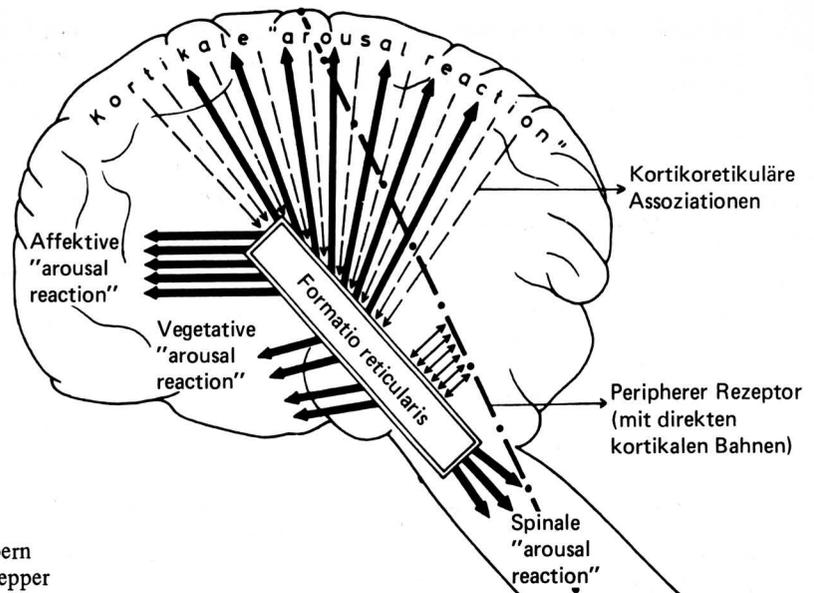
### 3. Die Beanspruchung des Schlepperfahrers

#### 3.1 Auswirkungen von Belastungen allgemein

Bei manchen Erörterungen des Problems, ob und wann ein Schlepperfahrer bei seiner Tätigkeit überbeansprucht wird, wird leider der derzeitige Forschungsstand der Physiologie noch nicht berücksichtigt, z.T. auch deswegen, weil die neueren Ergebnisse neurophysiologischer Forschung sich noch nicht in die praktische Anwendung mit Maß und Zahl umsetzen lassen. Trotzdem sollten diese physiologischen Tatbestände bei der quantitativen und qualitativen Bewertung der einzelnen Belastungsfaktoren wie Schwingungen, Lärm, Klima und luftfremde Stoffe stets in Rechnung gestellt werden. Sie seien darum bei der Frage nach einer gesundheitlichen Gefährdung durch das Schlepperfahren vorangestellt:

Alle Belastungsfaktoren werden über entsprechende Sinnesorgane, Rezeptorsysteme, vom Menschen aufgenommen und über spezifische Sinnesbahnen, also Nerven, den zuständigen Zentren in der Hirnrinde als Salve von bioelektrischen Impulsen zugeleitet, wobei in der Impulsfrequenz die Reizquantität und im Impulsmuster die Reizqualität verschlüsselt ist. Das jeweilige Zentrum in der Großhirnrinde verarbeitet und speichert die in der Impuls-salve enthaltene Information zum Bewußtwerden bzw. zum Wahrnehmen des jeweiligen Belastungsfaktors. So bewertet der die Wahrnehmungsstärke ausdrückende K-Wert in erster Linie die Beanspruchung dieser spezifischen, afferenten, d.h. dem Gehirn zugeleiteten Nervenbahn.

Eine derartige Bewertung eines Belastungsfaktors reicht jedoch bei weitem nicht aus und vermag auch nicht die mannigfachen Reaktionen des menschlichen Körpers auf eine Belastung zu erklären. Vielmehr muß berücksichtigt werden, daß es neben den spezifischen Sinnesbahnen noch unspezifische Bahnen gibt. Die Hörbahn, die Fühlbahnen für Schwingungen und Temperatur sowie die Riechbahn senden nämlich auf ihrem Wege zu ihren Hirnrindenzentren Abzweigungen in eine in tieferen Hirnbezirken liegende Struktur, in das sog. unspezifische Aktivierungssystem der Reticularformation, das generell für den Grad an Wachsamkeit und Aufmerksamkeit verantwortlich ist, **Bild 4**. Infolgedessen trägt jeder Einstrom aus den Sinnesorganen zu einer Hebung des Wachniveaus bei. Je mehr solche sensorischen Einstromungen erfolgen, um so höher ist der Wachheitsgrad, Müller-Limmroth [12, 13].



**Bild 4.** Schematische Darstellung der Reticularformation als Wachzentrale mit ihrer Ankopplung an das Großhirn (Pfeile nach oben), das Limbische System als Affektzentrale (Pfeile nach links), an das Zwischenhirn zu den vegetativen Zentren (Pfeile nach unten) und in das Rückenmark zur Einflußnahme auf das Muskelsystem [12].

Wie die schematische Darstellung in **Bild 4** aber auch demonstriert, steht die Reticularformation als Wachzentrale mit einer Reihe weiterer Nervenstrukturen in wechselseitiger Beziehung. Da existieren zweigleisige Nervenverbindungen zum Limbischen System, zur Affektzentrale. Die Belastungsfaktoren des Schlepperfahrers müssen deshalb neben einer Anhebung des reticulären Wachniveaus auch Veränderungen der Affektlage herbeiführen.

Ferner unterhält die Wachzentrale enge Kontakte zum sog. Hypothalamus im Zwischenhirn, d.h. zur Zentrale des vegetativen Nervensystems. Von diesem Hirngebiet wird bei Aktivierung der Sympathicus angeregt, jener Nerv, der im Körper alle die Umstellungen veranlaßt, die den Menschen zur Körperarbeit befähigen. Der Sympathicus bringt sozusagen den Menschen in Arbeitsbereitschaft, er wirkt ergotrop. Unter seinem Einfluß müssen darum Pulsfrequenz und Blutdruck steigen, der Magen-Darm-Kanal in seiner Sekretionsleistung, seiner Wandspannung und in den Magen-Darmbewegungen gehemmt sowie die Fettdepots und Traubenzuckervorräte in der Leber mobilisiert werden, die Konzentrationen an Fetten, Cholesterin und Glucose im Blut steigen an.

Schließlich hat die Reticularformation als Wachzentrale Nervenverbindungen zu dem System im Rückenmark, das für die Höhe der Muskelruhespannung und die Zielsicherheit willkürlicher Bewegungen verantwortlich ist. Mit wachsendem reticulärem Wachniveau wächst folglich zugleich die muskuläre Verspanntheit und werden willkürliche Bewegungen versteifert und von einer bestimmten Stärke an ungenauer. Wenn mit wachsender Muskelruhespannung (Muskeltonus) auch der Muskelbinnendruck wächst, so beeinträchtigt dieser auch die Durchblutung der betroffenen Muskeln, sofern der Muskelbinnendruck den Blutdruck in den kleineren, zur Ernährung und Sauerstoffversorgung wichtigen Blutgefäßen erreicht oder überschreitet. In dieser Situation bezieht die Muskulatur ihren Energiebedarf aus biochemischen Prozessen ohne Sauerstoff (anaerob) unter Bildung von Milchsäure. Sie führt zum Aufquellen der Muskeln, die in ihren derben Hüllen (Fascien) gleichsam "eingeklemmt" werden und dann stark schmerzen. Das wird besonders intensiv und

frühzeitig in solchen Muskelgruppen eintreten, die beim Schlepperfahren statische Arbeit, Haltearbeit, zu leisten haben, somit dauernd zur Sicherung der Körperhaltung angespannt sind. Die so hervorgerufene Übersäuerung der Muskeln mit Milchsäure löst nicht nur Steifigkeitsempfindungen aus, sondern verändert auch das Muskeleiweiß unter Bildung von schmerzhaften Muskelknoten (Myogelosen). So entstandene, glaubhafte Beschwerden werden fälschlicherweise nicht selten als Ausdruck eines Bandscheibenschadens angesehen, weil sie bevorzugt in der Nacken- und Lendenmuskulatur auftreten.

Die Nackenmuskulatur hat nämlich deshalb stärkere statische Arbeit zu leisten, weil sich der Schwerpunkt des Kopfes 4 cm oberhalb und 3 cm vor dem äußeren Gehörgang, also vor dem Drehpunkt des Kopfes zwischen der Schädelbasis und dem 1. und 2. Halswirbel befindet. Die statische Arbeit der Nackenmuskulatur verhindert ein Nachvornefallen des Kopfes.

Die Lendenmuskulatur des Schlepperfahrers hat den Rumpf zu halten, weil der Körperschwerpunkt mehr auf der Bauchseite, etwa 10 cm oberhalb der Hüftgelenke liegt. Dabei ist die statische Arbeit in den links und rechts der Dornfortsätze der Wirbelsäule liegenden Muskelsträngen (Musculus longissimus dorsi) dort am größten, wo die physiologische Krümmung zur Bauchseite besonders stark vorgewölbt ist (konvex, sog. Lendenlordose). Das ist in Höhe des 4. und 5. Lendenwirbels der Fall, also an gleicher Stelle, wo auch die echten Bandscheibenschäden häufiger auftreten, wenn auch ein Teil der Rumpflast durch die sog. "Bauchblase" passiv abgestützt wird. Dieser Tatbestand muß bei der Bewertung von "Schlepperfahrerkrankheiten" der Wirbelsäule berücksichtigt werden, zumal röntgenologisch nachweisbare Wirbelsäulenveränderungen beschwerdefrei oder wenigstens beschwerdearm bleiben können, während andere mit nur minimalen Veränderungen dieser Art starke Beschwerden verursachen. Hierbei ist auch zu beachten, daß die beschriebenen muskulären Veränderungen durch physikalische Maßnahmen wie Bewegungsgymnastik, Massage und warme Bäder rückgängig zu machen sind.

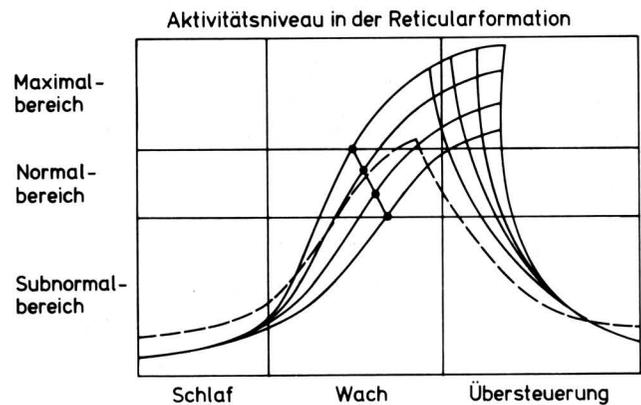
Die geschilderten, bezüglich der Belastungsfaktoren unspezifischen Vorgänge im Gehirn, die alle von der reticulären Wachzentrale ausgehen, müssen daher sein

1. Rückwirkungen auf die Großhirnrindenleistungen mit Beeinflussungen der bewußten Wahrnehmung und der Gedächtnis- und Handlungsleistungen
2. Rückwirkungen auf den Schlaf-Wach-Rhythmus
3. Beeinflussung der Affektlage, also der Stimmung, des Antriebs und der psychischen Reizbarkeit
4. Vegetative Veränderungen im Herz-Kreislauf-System und im Magen-Darm-Kanal und
5. Beeinflussungen der Muskelspannung und der Feinmotorik.

Wann nun die vorstehend dargestellten, neurophysiologischen Zusammenhänge den Schlepperfahrer krank zu machen vermögen, hängt generell vom Aktivitätsniveau in der Wachzentrale ab. Weil neben den Einströmungen aus den Sinnesorganen auch die Rückmeldungen aus dem Großhirn (z.B. berufliche oder private Sorgen), aus der Affektzentrale (Ärger, Trauer, Wut), aus den vegetativen Zentren (Bluthochdruck, Magen-Darm-Erkrankungen, Herzerkrankungen, Schlafstörungen oder schmerzhafte Erkrankungen des Bewegungsapparates) sowie aus den motorischen Regelzentren des Rückenmarks hinzukommen, kann das reticuläre Aktivitätsniveau über den Grenzwert der Beanspruchung in den Bereich der Überbeanspruchung kommen. Eine Überbeanspruchung kann dabei reversibel oder irreversibel sein.

Wann folglich bei einem bestimmten Menschen Schlepperfahren krank zu machen vermag, hängt – wie der Arzt zu sagen pflegt – von der Ausgangslage des Schlepperfahrers ab. Gemeint ist das aktuell vorhandene Aktivitätsniveau in der Reticularformation.

**Bild 5** zeigt Kennlinien der Reticularformation, also die Beziehungen zwischen der bioelektrischen, reticulären Aktivität und dem Wachheitsgrad. Ist der Einstrom aus den Sinnesorganen und den angeschlossenen Hirnstrukturen niedrig, so schläft der Mensch. Wächst der Einstrom, kommt es zum Überschreiten der Aufwachschwelle, wobei mit wachsendem Einstrom linear auch der Wachheitsgrad ansteigt, bis eine Art "Sättigungsgrenze" erreicht ist. Wird sie überschritten, so schaltet die Wachzentrale ab und es kommt zu einem Zustand der Bewußtseinsstrübung infolge Reizüberflutung. Entsprechend des Kennlinienverlaufs ändern sich im Verbund Affektlage, die vegetativen Begleitphänomene und die Muskelanspannung.



**Bild 5.** Die Kennlinie der Reticularformation mit den Beziehungen zwischen dem reticulären Aktivitätsgrad (Ordinate) und dem Wachniveau (Abszisse).

Die mit diesem Vortragsthema geforderte Bewertung der Arbeit auf Landmaschinen und Ackerschleppern muß zwangsläufig deshalb so schwer allgemeingültig vorzunehmen sein, weil von Mensch zu Mensch die individuelle reticuläre Kennlinie eine unterschiedliche Steilheit hat. Das bedeutet, daß es Menschen gibt, die bei einem vorgegebenen Einstrom von Informationen über Belastungsfaktoren relativ rasch an ihre Übersteuerungsgrenze gelangen, und andere, die an diese Grenze nicht herankommen.

Eine weitere Schwierigkeit liegt in der Tatsache begründet, daß auch die Qualität, die Art des Einstroms, für die Höhe der reticulären Pegelanhebung maßgebend ist. Riechreize und die Informationen aus den Sinnesfühlem der Muskulatur (Muskelspindeln und Sehnenspindeln), die über den Dehnungs- und Spannungszustand der Muskeln informieren, haben beispielsweise starke Aktivierungseffekte. Es folgen Kaltreize und erst danach akustische und optische Reize. So gesehen, spielt neben den Geruchsstoffen in der Atemluft in erster Linie die Körperhaltung und damit der Arbeitssitz auf dem Schlepper, der Grad der Schwingungsübertragung sowie Art und Anordnung der Bedienelemente eine große Rolle.

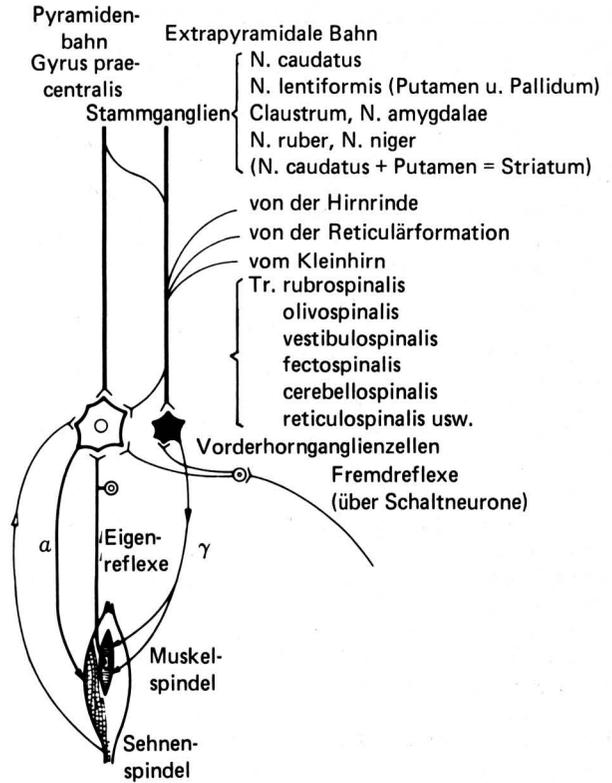
Die Frage, ob und wann die geschilderte, unspezifische Einflußnahme der Belastungsfaktoren auf die Beanspruchung des Schlepperfahrers krank zu machen vermag, ist naturgemäß erst anzugehen, wenn auch die Belastungsfaktoren mit ihren spezifischen Einwirkungen auf den Menschen bekannt sind.

### 3.2 Beanspruchungen durch mechanische Schwingungen

So liegen die für den Menschen wichtigen Schwingungen im Frequenzbereich um 4 Hz. Die Ursache hierfür liegt in der Eigenfrequenz des Menschen als eines Feder-Masse-Systems mit Dämpfungsgliedern, die bei 4–5 Hz liegt, so daß bei dieser Frequenz sich die Schwingwege teilweise verdoppeln. Daraus ergeben sich nicht nur mechanische Auswirkungen auf die Bandscheiben und die kleinen Wirbelgelenke, sondern auch auf den Magen. **Bild 6** zeigt beispielsweise die Wirbelbewegungen bei den verschiedenen Frequenzen vertikaler Schwingungen. Die größten Exkursionen liegen bei den Wirbelkörpern bei einer Schwingungsanregung um 4 Hz [6]. Diese Schwingwege führen zwangsläufig zu entsprechend verstärkten Drücken auf die zwischen den Wirbeln liegenden Bandscheiben. Letztere bestehen aus einem Ring aus Faserknorpel mit einem Gallertkern im Zentrum. Das Gewebe dieser Bandscheibe hat einen hohen Wassergehalt, vergleichbar mit einem "Wasserkissen", das jedoch wegen des mit dem Alter verbundenen schlechteren Wasserbindungsvermögens der Kolloide mit zunehmendem Lebensalter flacher wird. Dadurch wird nicht nur die Körperlänge mit dem Alter abnehmen, sondern auch die Gefahr steigen, daß die je zwei kleinen Wirbelgelenke zum darüber und darunter liegenden Nachbarwirbel mit ihren Gelenkknorpelüberzügen unter Schwingungseinfluß kräftiger aufeinanderstoßen können und Wirbelgelenkiritationen wahrscheinlich werden. Der altersbedingte Wasserverlust im Bandscheibengewebe hat noch eine weitere negative Konsequenz, nämlich eine Verminderung der mechanischen Belastbarkeit, so daß der Faserknorpelring leichter reißen und der Gallertkern sich in den Rückenmarkskanal ergießen kann. Das wäre dann der sog. Bandscheibenvorfall mit starken Beschwerden von Seiten der Rückenmarksnerven. Mit zunehmendem Lebensalter muß Schlepperfahren zwangsläufig problematischer werden.

Ferner ist eine Reihe von Wirbelsäulenbefunden zu berücksichtigen, die bei länger dauerndem Schlepperfahren einen ungünstigen Einfluß nehmen können. Dazu rechnen Wirbelsäulenverbiegungen, Veränderungen bei den Wirbelkörperabständen, Defekte an den Wirbeln selbst und ihren Gelenkfortsätzen sowie ein abnormes Wirbelgleiten.

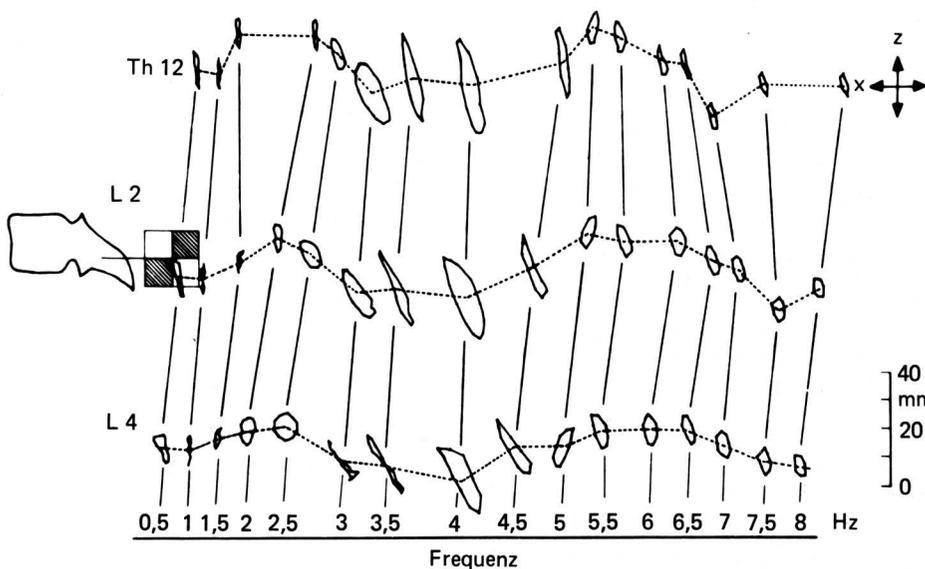
Neben Lebensalter und schon vorhandenen Wirbelsäulenabnormalitäten ist das Verhalten des für die Körperhaltung zuständigen Muskelapparates wichtig. Wenn nämlich diese Muskeln durch die Schwingungswege gedehnt werden, so führt das an den als Dehnungsmeßstreifen wirkenden Sinnesorganen der Muskeln,



**Bild 7.** Das Reflexsystem im Rückenmark zur Regelung der Muskelruhespannung und der Feinmotorik, nach *Schütz* [16].

den Muskelspindeln zu einer Reizung, deren Entladung – dem Rückenmark zugeleitet – über den sog. Reflexbogen auf Nervenzellen (sog. Alpha-Motoneurone) übertragen werden, die dann Impulssalven zu einer Reihe von Muskelfasern der gedehnten Muskulatur senden und sie zur Kontraktion bringen. Das führt nicht zur Bewegungsauslösung, wohl aber zu einer Spannungszunahme in den Muskeln, wodurch die Wirbel noch stärker zusammengestaucht werden. Dadurch werden zwar die Schwingwege reduziert, es verstärkt sich jedoch zugleich der Druck auf die Bandscheiben und die Wirbelgelenke.

Die Reflexbahn ist in **Bild 7** schematisch dargestellt. Die Dehnungsfühler der Muskeln, die Muskelspindeln, haben im Gegensatz zu ihren technischen Pendanten die Fähigkeit, ihre Dehnungsempfindlichkeit durch Vordehnungen zu verändern. Diese aber werden über Gamma-Motoneurone von der schon besprochenen Wachzentrale bewirkt. Je höher in der reticulären Wachzentrale der Aktivitätspegel ist, um so stärker muß die durch die Schlepperschwingungen veranlaßte Verspannung und Versteifung der Rückenmuskeln bzw. der Wirbelgelenke sein und damit auch die Gefahr für Schädigungen. Dabei erfordern die durch Nickschwingungen hervorgerufenen reflektorischen Muskeltonuserhöhungen dreifach mehr Energieaufwand als die unter Einwirkungen von Vertikalschwingungen.



**Bild 6.** Bewegungsformen für drei Wirbel bei Anregung durch vertikale Sinusschwingungen, nach *Dupuis* [6].

So kommt es, daß alle in die Reticularformation gelangenden Sinneseströmungen wie infolge Motorenlärms, klimatischer Faktoren und Geruchsstoffe zur Beanspruchung oder Überbeanspruchung der Wirbelsäule beitragen. Darum muß bei der Bewertung des Arbeitsplatzes "Schleppersitz" immer die Gesamtheit der Beanspruchungen in Rechnung gestellt werden.

Beim Magen führen die Schlepperschwingungen ebenso zu Resonanzerscheinungen mit einem Aufschaukeln der Schwingwege. Auch hier löst das reflektorische Veränderungen aus mit stärkster Ausprägung bei 4 Hz-Schwingungen. Diese reflektorischen Veränderungen müßten zu einer Veränderung der Magenmotorik und der Magensekretion führen, allerdings in uneinheitlicher Weise wegen der Doppelnervation des Magens über den fördernden vegetativen Nervus Vagus und den hemmenden vegetativen Nervus Splanchnicus. So sind lediglich Schwingungseinflüsse auf die Magenfunktion möglich, die wiederum von der Wachzentrale über die vegetativen Zentren im Zwischenhirn verstärkt werden können.

So wird die in Bild 8 wiedergegebene Graphik verständlich, nach der mit zunehmender Schlepperfahrstundenzahl pro Jahr die Wirbelsäulen- und Magenbeschwerden ansteigen. Die Häufigkeit der geäußerten Wirbelsäulenbeschwerden bei Schlepperfahrern sieht man der Größenordnung nach auch bei Bergleuten, LKW-Fahrern und Lokomotivheizern, Rosegger [14].

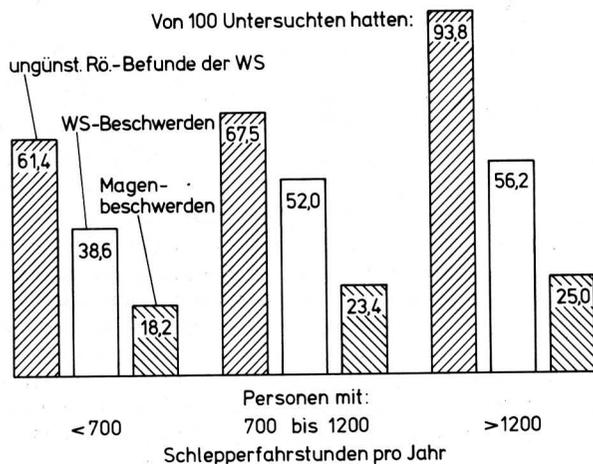


Bild 8. Röntgenbefunde, Wirbelsäulen- und Magenbeschwerden in Abhängigkeit von der jährlichen Schlepperfahrzeit, nach Dupuis [6].

### 3.3 Beanspruchungen durch Lärm

Der beim Schlepperfahren gegebene Belastungsfaktor Lärm mit einem Schalldruckpegel von 86–102 dB(A) in einem Frequenzbereich von 500–2000 Hz löst zunächst einmal je nach der Einwirkdauer direkte Schädigungen am Innenohr aus. Eine solche Lärmschwerhörigkeit besteht in einer Hörverschlechterung im Bereich um 5000 Hz (sog.  $c^5$ -Senke), wie man aus dem Audiogramm in Bild 9 entnehmen kann. Eine nur in diesem Frequenzbereich auftretende Lärmschwerhörigkeit (d.h. bei jungen Menschen ist die Hörfähigkeit unter- und oberhalb dieser Frequenz normal) tritt bei häufiger Wiederholung oder länger dauernder Einwirkung bei Schalldruckpegeln oberhalb 85 dB(A) auf. Die Lärmschwerhörigkeit ist von der Presbyakusis, der Altersschwerhörigkeit, abzugrenzen, bei der mit zunehmendem Lebensalter die obere Hörgrenze von 20 kHz schrittweise herunterrückt bis auf 8–10 kHz. Wegen einer möglichen Kombination ist nicht immer eine sichere Abgrenzung einer leichteren Lärmschwerhörigkeit von der Altersschwerhörigkeit möglich. Darum ist es auch schwierig, exakte Angaben über die Dauer einer Lärmexposition bis zur Erzeugung einer Lärmschwerhörigkeit zu machen. Hinzukommt, daß das Innenohr in den ersten drei Jahren noch eine gewisse Kompensation, einen

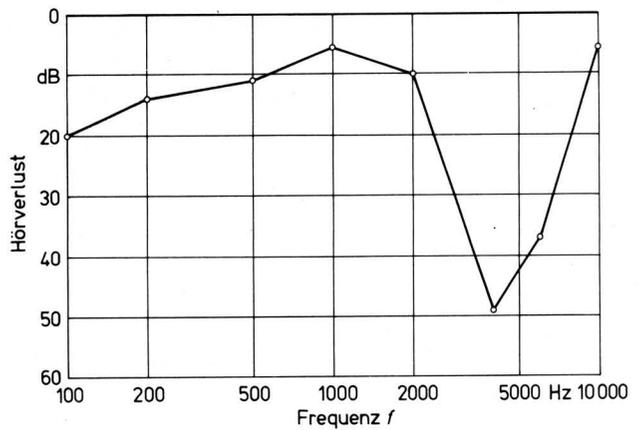


Bild 9. Audiogramm bei Lärmschwerhörigkeit, nach Ruedi [15].

Schadensausgleich, vorzunehmen vermag. Vom vierten Expositionsjahr ist die  $c^5$ -Senke jedoch permanent, Skiba [17]. Daß bei Frequenzgemischen von 200–10000 Hz nur bei  $c^5 \approx 4000$  Hz ein lärmbedingter Hörverlust auftritt, liegt daran, daß bei 4 kHz in der Endolymphe der Schnecke auf der mit Sinneszellen besetzten Basilarmembran Zug- und Zerrspannungen auftreten, die dadurch entstehen können, daß dort bei hohen Schalldrücken in der Endolymphe Wirbelrichtungsänderung auftreten [15]. Die von Tomlinson [18] veröffentlichten Audiogramme von Schlepperfahrern zeigen eigentlich nur in dem Audiogramm von Schlepperfahrern nach 10-jähriger Arbeit die  $c^5$ -Senke, während die Audiogramme nach 20- bzw. 30-jähriger Expositionszeit vornehmlich den Befund der Altersschwerhörigkeit zeigen. Bei dem beim Schlepperfahren entstehenden Lärm gibt es über die unspezifische Hörbahn auch extraaurale Lärmwirkungen, die in einer Anhebung des reticulären Wachpegels und von dort aus sekundär in einer Reihe von vegetativen Effekten, vor allem in Blutdrucksteigerungen, Pulsbeschleunigungen, Durchblutungsrosselungen, Bild 10, und Erhöhungen des Salzsäuregehalts im Magensaft bestehen. Natürlich treten wie bei Belastung durch Schwingungen zu den lärmbedingten Muskelspannungserhöhungen noch Affektverschiebungen und Verschlechterungen der Großhirnleistungen hinzu.

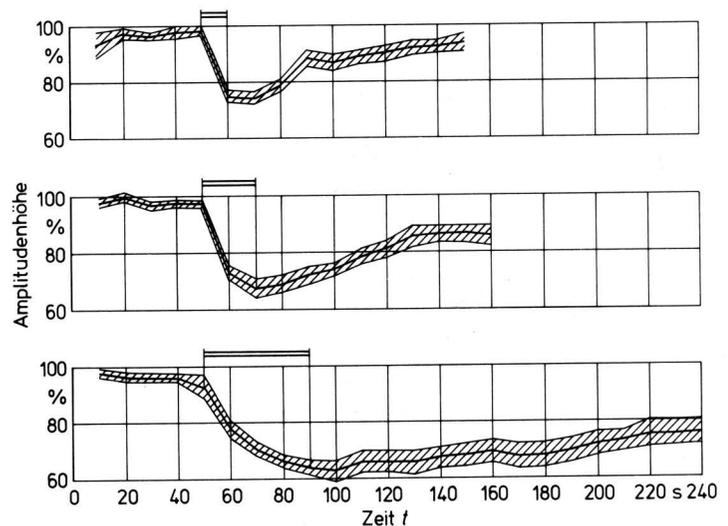


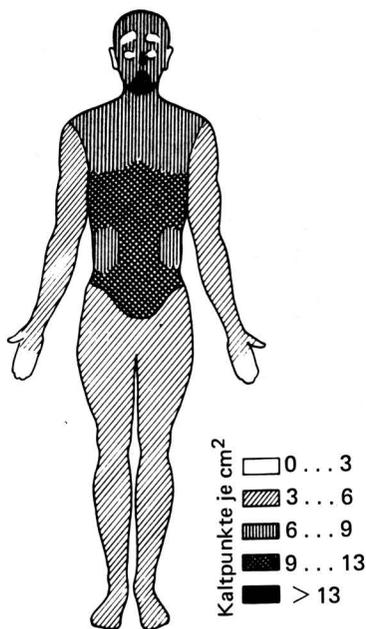
Bild 10. Drosselung der Fingerpulsamplitude durch Lärm nach Meyer-Delius [10].

Mittelwert und mittlere Schwankungsbreite von je 20 Versuchen (14 Versuchspersonen)  
 = 90 phon, 3200 bis 6400 Hz

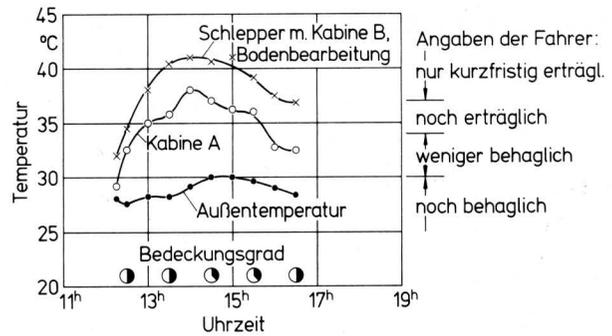
### 3.4 Beanspruchungen durch das Klima

Beim Belastungsfaktor Klima spielen eigentlich nur Kälte und Strahlungswärme eine Rolle. Die Kälte ist aus mehreren physiologischen und anatomischen Gründen wichtig. Generell ist die Besiedlung der Haut mit Kaltfühlern wesentlich dichter als mit Warmfühlern. Offenbar ist die Information über Kälte für den Menschen wichtiger. Obwohl die Nasen-Kinn-Partie (Trigeminusregion) als Eingangsstelle für den Atemweg die dichteste Besiedlung mit Kaltfühlern aufweist, **Bild 11**, und darum für den Schlepperfahrer ein Schutz dieser Region über die Kleidung sinnvoll ist, sind die zwar dünner mit Kaltrezeptoren besiedelten Füße noch bedeutsamer. Die von dort kommenden Kaltfühlerentladungen führen zu einer starken Aktivierung der Reticularformation. Solange man darum im Bett kalte Füße hat, solange kann man nicht einschlafen. Wenn ein Schlepperfahrer kalte Füße bekommt, wird er im Grunde die gleichen unspezifischen Effekte zeigen, wie sie bei den Schwingungs- und Lärmwirkungen beschrieben wurden. Die Temperaturregelzentrale im Zwischenhirn veranlaßt zusätzlich Abwehrmaßnahmen zum Schutz vor Unterkühlung. Das sind neben Muskeltonuserhöhungen, Gänsehaut und Muskelzittern (chemische Wärmeregulation mit verstärkter Wärmeerzeugung durch Erhöhung der Stoffwechselprozesse) vor allem Drosselungen der Haut- und Schleimhautdurchblutung. Weil aber eine schlecht durchblutete Nasen-, Rachen- und Mundschleimhaut zwangsläufig auf dem Blutwege weniger Abwehrstoffe gegen Mikroorganismen (z.B. Gamma-globuline) erhält, erhöht sich bei kalten Füßen zwangsläufig die Infektionsgefahr, also das Auftreten von Erkältungskrankheiten. Sinnvolle Fußbekleidung, eine Fahrerkabine mit Kabinenheizung wären wirksame Schutzmaßnahmen.

Die zu starke Aufheizung des Körpers durch Wärmestrahlung in einer Fahrerkabine kann die Leistungsfähigkeit des Schlepperfahrers beträchtlich einschränken. Wird eine Deckentemperatur der Kabine von 40 °C bei einer Lufttemperatur in der Kabine von 20–25 °C erreicht, so wird das bereits als unerträglich empfunden. Die Fahrerkabine sollten daher so konstruiert sein, daß die Deckentemperatur den Wert von 37 °C möglichst nicht überschreitet. Wie **Bild 12** jedoch belegt, wird bei Schleppern in der Bodenbearbeitung bei einer Außentemperatur von 27–30 °C eine Lufttemperatur in der Kabine von mehr als 40 °C erreicht, zweifellos eine Folge der Wärmestrahlung.



**Bild 11.** Verteilung der Kaltrezeptoren beim Menschen, nach *Aschoff u. Wever* [1].



**Bild 12.** Temperatur in einer Schlepperkabine bei Bodenbearbeitung, nach *Batel* [3].

### 3.5 Beanspruchungen durch luftfremde Stoffe

Unter den luftfremden Stoffen dürften für den Schlepperfahrer die Geruchsstoffe und die Schadgase aus den Abgasen des Motors nur eine untergeordnete Rolle spielen, sofern die Auspufföffnung richtig angeordnet ist. Wind und Fahrgeschwindigkeit dürften dann allein schon ausreichen, daß diese Belastungsfaktoren unproblematisch bleiben. Das gilt zwar prinzipiell auch für Stäube, jedoch können bei der Bodenbearbeitung unter ungünstigen Klimabedingungen durchaus Konzentrationen in der Atemluft erreicht werden, die die Reinigungskraft der oberen Luftwege überschreiten. Sind Feinstaubanteile mit einer Partikelgröße unter 5 µm enthalten, dann gelangt der Staub in die Lungenbläschen, dorthin, wo der Gasaustausch stattfindet. Am Arbeitsplatz soll die maximale Staubkonzentration von 10 mg/m<sup>3</sup> als MAK-Wert nicht überschritten werden. Auf Schleppern wurden unter ungünstigen Bedingungen bis zu 100-fach höhere Konzentration gefunden, wobei der lungengängige Feinstaub nur 3–8 % beträgt. Fände sich ein Mensch in einem geschlossenen Raum mit stark staubhaltiger Luft (1000 mg Staub/m<sup>3</sup>), so würde er pro Tag bei ruhigem Sitzen nur 150 mg Staub eingeatmet haben, von dem nur 5 %, etwa 7,5 mg, in die Lungen gelangen. Auf freiem Feld und bei normaler Fahrgeschwindigkeit und einem meist aus einer Richtung kommenden Wind, muß die effektive Staubbelastung weitaus geringer sein.

Der Bodenstaub selbst besteht vorwiegend aus Aluminium-Silizium-Verbindungen (Aluminiumoxid und Siliziumdioxid) mit etwas Quarz, Glimmer, Feldspat sowie aus Calcium- und Eisensalzen der Huminsäuren mit Pflanzenresten. Die Teilchengröße schwankt überwiegend zwischen 20 µm und 2000 µm. Das zeigt, daß die Lungengängigkeit des Bodenstaubs gering ist. Gesundheitliche Gefährdungen im Sinne einer Steinstaublunge (Silikose) ist beim Schlepperfahrer deshalb und wegen der geringeren Expositionszeiten nicht zu erwarten. Wenn sich aber die Staubpartikel auf den Schleimhäuten der Bronchien und der kleinen Bronchiolen (Bronchiolen) niederschlagen, ist eine Zusammenziehung der Bronchien (Bronchokonstriktion) mit einer Atemwiderstandserhöhung und vermehrter Schleimsekretion möglich, was Anlaß für eine chronische Bronchitis sein kann. Die Wahrscheinlichkeit einer auf Staubinhalation beruhenden Bronchitis ist als gering zu bezeichnen.

### 4. Zusammenfassung

Keihen wir abschließend noch einmal zu der unspezifischen Einwirkung von Belastungsfaktoren zurück: Wie dargestellt, führt eine zu hohe Aktivitätsanhebung der Reticularformation in einen Bereich der Übersteuerung. Das ist zwar primär noch die Grenze der reversiblen Überforderung, löst aber in jedem Fall die sog. Streßreaktion aus. Sie wird von der Reticularformation ausgehend über das vegetative Zentrum im Zwischenhirn und von dort über

die Hirnanhangsdrüse hormonell und zwar hauptsächlich über das Hormon ACTH ausgelöst. Dieses adrenocorticotrope Hormon stimuliert die Nebenniere, die somit zur Ausschüttung von Nebennierenmarkhormonen (Adrenalin, Noradrenalin) und Nebennierenrindenhormon (Cortisol) veranlaßt wird. Dadurch wird kurzfristig der Mensch in Arbeitsbereitschaft, in Ergotropie gebracht: Herzfrequenz und Blutdruck steigen, das vegetative Nervensystem wird aktiviert mit Schlafunterdrückung und Magendämpfung, die Glucose- und Fettkonzentration im Blut als Brennmaterial steigen an, während die Abwehrmechanismen gedämpft werden (Immunhemmung). Vermag der Mensch diese arbeitsbereite Situation durch ausreichende körperliche Arbeit "abzureagieren", ist die Streßreaktion harmlos. Beim Schlepperfahren mit einem Energieumsatz von etwa 8,5 kJ/min reicht der Aktivitätsgrad nicht aus, die Abreaktion geht folglich teilweise ins Leere, der Streß wird zum Distreß. Das kann bei häufiger Wiederholung gesundheitsgefährdend werden, indem die Blutzuckererhöhung eine Insulinausschüttung aus der Bauchspeicheldrüse erfordert (Altersdiabetes) und die vermehrten Blutfette wandern u.a. in die Gefäßwände und begünstigen so die Entwicklung einer Arteriosklerose. Die logische Konsequenz ist, daß man zur Verhinderung einer solchen negativen Entwicklung bei häufigem Schlepperfahren für ausreichende körperliche Aktivität mit dynamischen Arbeiten sorgen muß.

Kurz zusammengefaßt ist daher zu sagen: Schlepperfahren kann krank machen. Wann das aber auftritt, hängt von der Ausgangslage des Schlepperfahrers und seiner Reaktionsempfindlichkeit gegenüber den Belastungsfaktoren ab. Die praktisch wichtigen Faktoren sind dabei die mechanischen Schwingungen, der Lärm, die Kälte und die Wärmestrahlung. So gilt es auch für die künftige ingenieurmäßige Forschung immer noch, im Verbund mit dem Arbeitsphysiologen auch auf dem Schlepper die Humanfaktoren bei Arbeit zu optimieren.

### Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] *Aschoff, J. u. R. Wever*: Kern und Schale im Wärmehaushalt des Menschen. Naturwiss. Bd. 45 (1958) Nr. 20, S. 477/85.
- [ 2 ] *Batel, W.*: Technische Möglichkeiten zur Erleichterung der Arbeit der Fahrer von Schleppern, Mähdreschern und anderen selbstfahrenden Arbeitsmaschinen. Grndl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 1, S. 21/30.
- [ 3 ] *Batel, W.*: Messungen zur Staub-, Lärm- und Geruchsbelastung an Arbeitsplätzen in der landwirtschaftlichen Produktion und Wege zur Entlastung. — Erster Bericht. Grndl. Landtechnik Bd. 25 (1975) Nr. 5, S. 135/57
- [ 4 ] ● *Comroe, J. H.*: Physiologie der Atmung. Stuttgart-New York: F. K. Schattauer-Verlag, 1968.
- [ 5 ] *Dupuis, H. u. H. A. Broicher*: Methoden zur Untersuchung der Schwingbeanspruchung des Menschen. In: Aufgaben und Ergebnisse aus der Landarbeitswissenschaft. Schriftenreihe "Landarbeit und Technik" Heft 35. Hamburg-Berlin: P. Parey-Verlag, 1968.
- [ 6 ] *Dupuis, H.*: Zur physiologischen Beanspruchung des Menschen durch mechanische Schwingungen. Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 11, Nr. 7, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1969.
- [ 7 ] *Dupuis, H. u. W. Christ*: Untersuchung der Möglichkeit von Gesundheitsschädigungen im Bereich der Wirbelsäule bei Schlepperfahrern — Zweite Folgeuntersuchung. Arbeiten aus dem Max-Planck-Institut für Landarbeit und Landtechnik H. A 72/2, Bad Kreuznach 1972.
- [ 8 ] ● *Dupuis, H.*: Messung und Bewertung von Schwingungen und Stößen. In: *H. Schmidtke*: Ergonomie 2. München: C. Hanser-Verlag, 1974.
- [ 9 ] ● *Lehmann, G.*: Praktische Arbeitsphysiologie. 2. Aufl. Stuttgart: G. Thieme-Verlag, 1962.
- [ 10 ] *Meyer-Delius, J.*: Die Schalleinwirkung auf den Menschen. Automobiltechn. Zeitschrift Bd. 59 (1957) Nr. 10, S. 293/97.
- [ 11 ] ● *Müller, R.*: Lehrbuch der Hygiene. Teil 1, 2. Auflage. München-Berlin: J.F. Lehmann-Verlag, 1942.
- [ 12 ] ● *Müller-Limmroth, W.*: Die physiologischen Grundlagen der Anforderungen im Straßenverkehr. In: *K. Wagner u. H.-J. Wagner*: Handbuch der Verkehrsmedizin. Berlin-Heidelberg-New York: Springer-Verlag, 1968
- [ 13 ] *Müller-Limmroth, W.*: Arzneimittel und Straßenverkehr. ADAC-Schriftenreihe "Straßenverkehr" Heft 15. München: ADAC-Verlag, 1974.
- [ 14 ] *Rosegger, S.*: Vorzeitige Aufbraucherscheinungen der Wirbelsäule durch Fahrzeugschütterungen. Informationen für den Werkarzt (Chemiewerk Homburg, Frankfurt) Nr. 28 (1971) S. 122/29.
- [ 15 ] *Rüedi, L.*: Die Schallschädigungen des Ohres. Mensch und Umwelt, Heft 2, Basel: J. R. Geigy, 1957.
- [ 16 ] ● *Schütz, E.*: Physiologie. 6. Aufl. München-Berlin: Urban & Schwarzenberg, 1961.
- [ 17 ] ● *Skiba, R.*: Taschenbuch Arbeitssicherheit. Berlin: E. Schmidt-Verlag, 1973.
- [ 18 ] ● *Tomlinson, R. W.*: A tractor noise limit according to predicted driver hearing loss. NIAE-Subject-Day on Tractor and Cab Noise. Paper No. 3, Silsoe (England) 1970.
- [ 19 ] ● *Valentin, H., W. Klosterkötter, G. Lehnert, H. Petry, J. Rutenfranz u. H. Wittgens*: Arbeitsmedizin. Stuttgart: G. Thieme-Verlag 1971.
- [ 20 ] *Weichenrieder, A.*: Untersuchung zur Belastung des Schlepperfahrers durch Lärm. Grndl. Landtechnik Bd. 23 (1973) Nr. 5, S. 121/28.