

ATW – Ausschuss für Technik im Weinbau

Deutscher Weinbauverband ▪ Deutsche Landwirtschafts-
Gesellschaft ▪ Kuratorium für Technik und Bauwesen in der
Landwirtschaft

Der Weinbergsschlepper als Arbeitsplatz

Ergonomische Untersuchungen des Fahrerplatzes
auf Weinbergsschleppern

Franz Rebholz

Abschlussbericht zum ATW-Vorhaben 140

Durchführung

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinpfalz
Abteilung Weinbau und Önologie
Breitenweg 71 ▪ D-67435 Neustadt a. d. Weinstraße

KTBL-Titel: I/05
Förderjahre: 2003 und 2004
Förderland: Baden-Württemberg

Eine ATW-Berater-Information

ATW-Vorstand

Vorsitzender

Peter Jost ■ Hahnenhof
Oberstraße ■ D-55422 Bacharach
Tel.: +49 (0) 6743/1216 ■ Fax: +49 (0) 6743/1076
eMail: tonijost@debitel.net

2. und Geschäftsführender Vorsitzender

Dr. Rainer Jung
Forschungsanstalt Geisenheim ■ Fachgebiet Kellerwirtschaft
Blaubachstraße 19 ■ D-65366 Geisenheim
Tel.: +49 (0) 6722/502-177 ■ Fax: +49 (0) 6722/502-170
eMail: r.jung@fa-gm.de

Dr. Jürgen Dietrich
Staatsweingut Meersburg ■ D-88701 Meersburg
Tel.: +49 (0) 7532/4467-10 ■ Fax: +49 (0) 7532/4467-17
eMail: JD@Staatsweingut-Meersburg.de

ATW-Beirat

Obmann

MinR Hermann Fischer
Minist. für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau
PF 3269 ■ Bauhofstraße 4 ■ D-55116 Mainz
Tel.: +49 (0) 6131/16-5252 ■ Fax: +49 (0) 6131/16-175252
eMail: Hermann.Fischer@mwwlw.rlp.de

Geschäftsführer

Dr. Albrecht Achilles
KTBL ■ Bartningstraße 49 ■ D-64289 Darmstadt
Tel.: +49 (0) 6151/7001-139 ■ Fax: +49 (0) 6151/7001-204
eMail: a.achilles@ktbl.de

© 2006 by Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)
Bartningstraße 49 ■ D-64289 Darmstadt,
Tel.: +49 (0) 6151/7001-0 ■ Fax: +49 (0) 6151/7001-123 ■ Internet: www.ktbl.de

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, (BMELV) sowie des Deutschen Weinbauverbandes (DWV). Nachdruck, auszugsweise Wiedergabe, Vervielfältigung, Übernahme auf Datenträger und Übersetzung nur mit Genehmigung des ATW.

Redaktion

Dr. Albrecht Achilles ■ KTBL

Titelbild: Untersuchte Schmalspurtraktoren (Foto: Rebholz)

Printed in Germany.

Inhalt

1	Einleitung	3
1.1	Aufgabe der Ergonomie	3
1.2	Belastungen am Arbeitsplatz	3
1.3	Aufgabenstellung der Untersuchung	4
2	Messverfahren und Bewertungen	5
2.1	Messung der Lärmbelastung	5
2.1.1	Begriffe	5
2.1.2	Bewertung	5
2.1.3	Lärmmessung	8
2.2	Messung der Schwingungsbelastung	10
2.2.1	Begriffe	11
2.2.2	Bewertung	11
2.2.3	Schwingungsmessung	14
2.3	Messung von Klimafaktoren	18
2.3.1	Physikalische Größen	19
2.3.2	Bewertung	19
2.3.3	Messprinzipien und Messgeräte	22
2.4	Bewertungen von Fahrerplätzen	24
3	Untersuchte Schmalspurschlepper	26
4	Untersuchungen zur Lärmbelastung in Kabinenschleppern	28
4.1	Messergebnisse	28
4.1.1	Lärmpegel am Fahrerohr – offene und geschlossene Kabine	28
4.1.2	Lärmpegel bei verschiedenen Motordrehzahlen	29
4.1.3	Lärmpegel bei Zapfwellenarbeiten	30
4.2	Diskussion der Messergebnisse	31
4.3	Maßnahmen zur Lärminderung	32
4.4	Entwicklung der Lärmbelastung am Schmalspurschlepperfahrerplatz	35
5	Untersuchungen zur Schwingungsbelastung auf dem Fahrersitz	36
5.1	Messergebnisse	36
5.1.1	Schwingungsbelastung auf fester Fahrbahn	36
5.1.2	Schwingungsbelastung bei verschiedenen Einsatzbedingungen	40
5.2	Diskussion der Messergebnisse	43
5.3	Schwingungsschutzmaßnahmen	44
5.4	Entwicklung der Schwingungsbelastung am Schmalspurschlepperfahrerplatz	46
6	Untersuchungen von Klimafaktoren in Schmalspurschlepperkabinen	48
6.1	Messergebnisse	48
6.2	Diskussion der Messergebnisse	51
6.3	Maßnahmen zur Klimaoptimierung	53
7	Bewertungen von Fahrerplätzen durch Prüfpersonen	54
7.1	Ergebnisse	54
7.1.1	Bewertungen nach Bereichen	55
7.1.2	Einzelergebnisse	57
7.2	Diskussion der Ergebnisse	67
7.3	Entwicklung der Ergonomie des Schmalspurschlepperfahrerplatzes	68
8	Zusammenfassung	71
9	Literatur	72
	Anhang:	74
-	Prüfliste Schlepper-Arbeitsplatz	
-	Anleitung zur Prüfliste	

1 Einleitung

1.1 Aufgabe der Ergonomie

Aufgabe der Ergonomie ist es, zur Arbeitserleichterung die technischen Gegebenheiten eines Arbeitsplatzes an den dort arbeitenden Menschen anzupassen. Sie hat somit als konkretes Ziel, die konstruktions-, sicherheits- und arbeitstechnischen Vorgaben dieses Arbeitsplatzes mit den „Daten“ der Arbeitsperson (z.B. Körpergröße, Körperkräfte, Sehanforderungen) so in Einklang zu bringen, dass der Mensch im Arbeitsprozess gut erträgliche und beeinträchtigungsfreie Arbeitsbedingungen vorfindet und dass deshalb höchste Effizienz und Produktivität erreicht werden kann. Die Ergonomie betrachtet demnach „zielgerichtet die Leistungsvoraussetzungen des Menschen bei der Arbeit und die menschengerechte Gestaltung eines einzelnen Arbeitsplatzes“ (ZÜLCH U. VON KIPARSKI, 1999).

Für das Erreichen dieser Zielsetzung müssen daher die verschiedenen Belastungsfaktoren am Arbeitsplatz erfasst und beurteilt werden.

1.2 Belastungen am Arbeitsplatz

Von zentraler Bedeutung für die Einschätzung der Belastungssituation an einem Arbeitsplatz sind Belastungen, die einerseits durch die Arbeitsaufgabe selbst, andererseits durch die Arbeitsumgebung entstehen. Beide Belastungsarten werden dabei von verschiedenen Faktoren beeinflusst:

- Die Arbeitsaufgabe ruft beispielsweise Belastungen hervor, die mit dem Arbeitsinhalt (z.B. manuelle Tätigkeit im Weinberg oder Bürotätigkeit) zusammenhängen. Die Höhe dieser Belastung wird beeinflusst durch Art, Schwierigkeitsgrad, Kraftanforderung, Dauer der Arbeit und die Anzahl der Funktionen, die vom Menschen zu verrichten sind, und kann daher mehr physischer oder psychischer Natur sein. Weitere Belastungsfaktoren durch die Arbeitsaufgabe können aber auch ergonomisch ungünstig gestaltete Arbeitsplätze, mangelhaft geeignete Arbeitsmittel oder eine unzureichende Arbeitsorganisation sein.
- Der arbeitende Mensch kann aber auch durch seine Arbeitsumgebung belastet werden. Zu den Umgebungseinflüssen, die mit unterschiedlicher Ausprägung an jedem Arbeitsplatz zu beachten sind, zählen die klimatischen Bedingungen, die Lärm- und Beleuchtungssituation, die Gefahrstoffbelastung sowie weitere Einflüsse wie Vibrationen oder gefährliche Strahlungen.

Beide Belastungsarten sollten durch geeignete Maßnahmen möglichst minimiert werden.

Die eigentliche Arbeitsaufgabe am Schlepperfahrerplatz lässt sich inhaltlich nur sehr begrenzt verändern, da die Zielsetzung des Arbeitsvorganges vorgegeben ist. Eine optimale Gestaltung des Arbeitsplatzes kann allerdings sehr wohl angestrebt werden, um auch auf Dauer die Leistungsfähigkeit der Arbeitsperson auf hohem Niveau zu halten. Zu den hauptsächlich wirkenden Umgebungseinflüssen des Schlepperfahrerplatzes zählen im Einzelnen Lärm-, Schwingungs-, Klima-, Staub- und toxisch wirkende Belastungen (DUPUIS, 1981).

Die besondere Gefahr der meisten Belastungen am Arbeitsplatz liegt darin, dass ihre Wirkungen auf den Menschen nicht immer akut, also unmittelbar eintreten, sondern erst nach längerer Einwirkungszeit, dann aber häufig mit irreversiblen gesundheitsschädigenden Folgen.

Um die Belastungssituation an einem Arbeitsplatz beschreiben zu können, müssen möglichst alle Belastungsfaktoren mit Hilfe objektiver Verfahren ermittelt werden. Dabei sind jeweils Höhe und Dauer der Belastung von Bedeutung. Zur anschließenden Beurteilung der Belastungssituation gibt es, vor allem bei den Umgebungseinflüssen, eine Fülle von Gesetzen, Normen, Richtlinien und wissenschaftlichen Empfehlungen (nach ZÜLCH U. VON KIPARSKI, 1999).

1.3 Aufgabenstellung der Untersuchung

Die im Rahmen dieser Untersuchung bearbeiteten Themen stellen wesentliche Teilbereiche aller möglichen Aspekte bei der Beurteilung von Arbeitsplätzen dar.

Gemessen und beurteilt wurden dabei die am Schmalspurschlepper am gravierendsten einzustufenden Umgebungseinflüsse Lärm und mechanische Schwingungen sowie einige Klimafaktoren. Darüber hinaus erfolgte eine Bewertung der ergonomischen Situation hinsichtlich der Gestaltung des Fahrerplatzes.

Die Arbeit soll anhand der durchgeführten Messungen und Bewertungen einen aktuellen Einblick in Art und Größe der betrachteten Belastungsarten bei den getesteten Schmalspurschleppern liefern.

Hierbei wurde nicht der Anspruch erhoben, strengsten wissenschaftlichen und technischen Kriterien standhaltende, äußerst exakte Messwerte zu erzielen, wie es vornehmlich bei Homologations- oder Geräteprüfungen der Fall sein muss. Die nachfolgend dargestellten Untersuchungen wurden stattdessen bei ihrer Versuchsgestaltung eher bewusst dahingehend ausgerichtet, dass sie möglichst die Praxisbedingungen im Weinbau widerspiegeln. Dementsprechend ist ein direkter Vergleich mit Werten, welche z.B. auf genau definierten Prüfbahnen ermittelt werden, nicht oder der Messwerte untereinander nur bedingt möglich.

In Verbindung mit der Darstellung und Diskussion der Ergebnisse werden auch Ansätze zur Belastungsreduzierung dargelegt. Da es sich bei den Testfahrzeugen um Schlepper neuester Bauart handelt, wird abschließend jeweils – soweit sinnvoll möglich – eine Gegenüberstellung mit entsprechenden Ergebnissen der zuletzt vorliegenden und vergleichbaren früheren Untersuchung (RÜHLING, STRUCK U. UHL, 1989) vorgenommen. Dadurch lässt sich die ergonomische Entwicklung während der seither vergangenen Jahre mit den damit verbundenen eventuellen Verbesserungen erkennen.

An dieser Stelle ist zu danken:

- dem Institut für Technik der FA Geisenheim, namentlich Herrn Dr. Gerhard Bäcker, für die unentgeltliche Überlassung entsprechender Messgeräte
- den Herren Oliver Koch und Steffen Pfaffmann für die Bearbeitung von Teilbereichen dieser Untersuchung im Rahmen ihrer Diplomarbeit,
- folgenden Schlepperherstellern und Landmaschinenhändlern für das Zur-Verfügung-Stellen der Versuchsschlepper:
 - o MAT-GmbH, Waldkraiburg (Carraro)
 - o Bartz & Klein, Neustadt (Case)
 - o Rhenania GmbH, Speyer (Deutz)
 - o Dexheimer, Wallertheim
 - o Vogel, Harthausen (Eicher, Massey-Ferguson)
 - o Raiffeisen Waren-Zentrale Rhein-Main, Grünstadt (Fendt)
 - o Holder, Metzingen
 - o Krieger, Rhodt u. Rietburg
 - o Josef Fischer, Niederkirchen (New Holland)
 - o Zwißler, Ottersheim (Renault)
- den Mitarbeitern des DLR Rheinpfalz der Gruppe Weinbau und des Staatsweingutes für deren vielfältige Unterstützung sowie
- allen Personen, die sich an der Bewertung der Testschlepper beteiligt haben.

2 Messverfahren und Bewertungen

2.1 Messung der Lärmbelastung

Durch Lärm verursachte Beeinträchtigungen der Hörfähigkeit gehören zu den häufigsten Berufskrankheiten. Die durchgeführten Messungen sollen Auskunft über die Art und Größe der Lärmbelastung und die daraus möglicherweise resultierenden gesundheitlichen Risiken für den Fahrer geben. Dabei soll überprüft werden, ob die heutigen modernen Schmalspurschlepperkabinen in der Lage sind, den ergonomischen Ansprüchen des darin arbeitenden Menschen hinsichtlich der Lärmsituation zu genügen.

2.1.1 Begriffe

Von der physikalischen Begrifflichkeit her ist zwischen Schall (= mechanische Schwingungen eines elastischen Mediums, z.B. Luft, im Frequenzbereich des menschlichen Hörens, 16 - 20.000 Hz) und Lärm zu unterscheiden: Eine einheitliche Definition des Begriffes Lärm gibt es nicht. In der VDI-Richtlinie 2058, Blatt 3 (1981) werden alle Geräusche als Lärm bezeichnet, die zur Beeinträchtigung der Gesundheit, der Arbeitssicherheit oder der Leistungsfähigkeit führen können. In der Regel liegen in der betrieblichen Praxis Geräusche vor, die ab einer bestimmten Intensität als störend empfunden und dann als Lärm bezeichnet werden. Im Folgenden wird vorwiegend der praxisübliche Begriff Lärm verwendet, ohne damit unmittelbar eine Beurteilung der Geräuschsituation zu verbinden.

2.1.2 Bewertung

In der Schallmesstechnik werden Schallereignisse in der Regel nicht direkt in ihren physikalischen Einheiten, sondern als Verhältniszahl relativ zur Hörschwelle des menschlichen Ohres angegeben. Diese Verhältnisangabe nennt man Schallpegel; als Recheneinheit wird Dezibel (dB) verwendet. Als Schallpegel ausgedrückt liegt die Hörschwelle bei 0 dB und die Schmerzschwelle bei 120 dB. Allerdings beziehen sich diese Angaben nur auf eine Frequenz von 1000 Hz. Da aber das menschliche Ohr z.B. eine höhere Frequenz von 4.000 Hz bei gleichem Schallpegel lauter empfindet als eine Frequenz von 1.000 Hz, stellt der Schallpegel allein kein geeignetes Maß für den subjektiven Lautstärkeindruck dar. Um das Ausmaß der Lärmempfindung und Gesundheitsgefährdung beurteilen zu können, ist demnach eine Bewertung des gemessenen Schallpegels verschiedener Frequenzen nötig. Allerdings ist eine genaue Nachbildung der menschlichen Geräuschempfindung messtechnisch aufwändig. Deshalb hat man verschiedene vereinfachte Bewertungsschemata (A bis D) genormt. Die Bewertung nach der Bewertungskurve A hat sich in der betrieblichen Praxis für Belastungsmessungen am Arbeitsplatz durchgesetzt und wird auch in den entsprechenden offiziellen Richtlinien und Vorschriften herangezogen. Ein damit frequenzbewertetes Signal wird als A-bewerteter Schallpegel dB(A) bezeichnet. Des weiteren gilt zur Lautstärke von Schallquellen festzuhalten, dass – da die Einheit Dezibel (dB) eine logarithmische Verhältnisangabe darstellt – die Erhöhung der Lautstärke um nur 3 dB, z.B. von 90 dB auf 93 dB, eine Verdoppelung des Schalldrucks bedeutet, der auf das Ohr einwirkt.

Wirkungen auf den Menschen

Die Wirkungen der Lärmbelastung lassen sich in Abhängigkeit von der **Lautstärke** des einwirkenden Lärms in vier Gruppen (Abb. 1) einteilen.

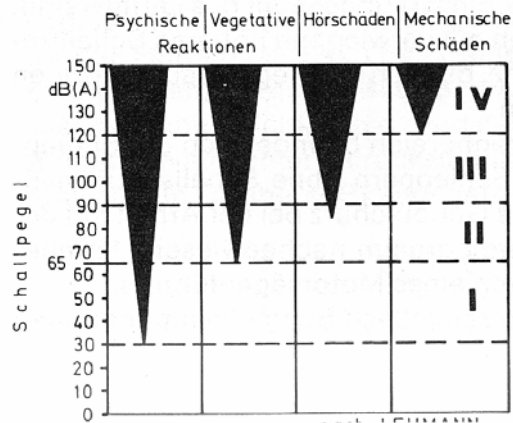


Abb. 1: Bereiche der Lärmwirkungen (DUPUIS, 1981)

Bis etwa 30 dB(A) wird jeglicher Lärmcharakter abgesprochen, gesundheitsschädliche Auswirkungen sind auszuschließen.

Im ersten Bereich zwischen 30 und 65 dB(A) werden psychische Effekte ausgelöst, die allerdings subjektiv sehr unterschiedlich sein können. So wurde eine Zunahme von psychischen bzw. psychosomatischen Symptomen mit steigender Lärmbelastung verzeichnet, die durch die damit einhergehende Belästigung hervorgerufen werden. Dies können z.B. Aufmerksamkeits- und Konzentrationsverluste und dadurch die Zunahme von Fehlern sein.

Zwischen 65 und 85 dB(A) treten neben den psychischen auch physische Wirkungen, die vom vegetativen Nervensystem gesteuert werden (Blutdruckerhöhung, Herzfrequenzsteigerung) auf. Lärmbelastungen über 85 dB(A) können darüber hinaus nach kurzer Einwirkungszeit dazu führen, dass die Hörfähigkeit nachlässt. In dem hier aufgeführten Lärmbereich befindet sich der Schleppfahrer während seiner Arbeit.

Der vierte Bereich der Lärmwirkung liegt bei einem Schallpegel von über 120 dB(A). Hierbei treten nach relativ kurzer Zeit die ersten irreversiblen Schädigungen auf, längere Einwirkdauer führt zur völligen Ertaubung.

Dies macht deutlich, dass für die Beurteilung der Lärmwirkung auch der **Zeitfaktor** von Bedeutung ist: Vereinfacht gesagt gilt, je länger der Lärm einwirkt, umso größer ist die Schädigung, und Dauerlärm ist schädlicher als die Einwirkung desselben Schalldrucks, unterbrochen durch Pausen. Denn in der Phase nach einer Lärmbelastung kann sich das Gehör von der Wirkung des übermäßigen Reizes wieder erholen. Dieser reversible Hörverlust ist an einer Hörverschlechterung um 5 – 20 dB erkennbar und muss sich innerhalb von 8 – 24 Stunden wieder zurückbilden. Reicht die Erholungszeit des Gehörs nicht mehr aus, kommt es schließlich zu einem irreversiblen Hörverlust. Man spricht dann in diesem Zusammenhang von Lärmschwerhörigkeit (Verringerung der Gehör-Empfindlichkeit im Bereich von 4.000 Hz, bei stärkerer Schädigung auch der umliegenden Frequenzbereiche).

Unterhalb einer gewissen Schwelle (80 – 85 dB(A)) gibt es praktisch kein Risiko der Lärmschwerhörigkeit. Oberhalb einer gewissen Grenze (130 - 140 dB(A)) führt die Lärmeinwirkung in relativ kurzer Zeit zur völligen Ertaubung (Lärmtrauma). Dazwischen liegen die Lautstärken, die während eines Arbeitslebens mehr oder weniger stark ausgeprägte Lärmschwerhörigkeiten verursachen. Die Beziehung zwischen der Lautstärke, Schallfrequenz und Zeitdauer des Lärms und der Entwicklung einer Schwerhörigkeit ist jedoch nicht für alle Individuen gleich und dementsprechend

schwer zu beurteilen. Bekannt ist allerdings, dass Lärmquellen mit vorwiegend höheren Schallfrequenzen als gefährlicher einzustufen sind als solche, die sich vorwiegend aus niedrigen Schallfrequenzen zusammensetzen. Bei mittelgroßen Lautstärken, etwa von 90 - 105 dB(A), entwickelt sich der Hörverlust in den hohen Frequenzen (3.000, 4.000, 6.000 Hz) während der ersten 15 - 18 Jahre sehr rasch, erreicht dann oft eine Sättigung oder schreitet nur noch langsam fort; in den tiefen Frequenzen (500, 1.000, 2.000 Hz) ist die Zunahme des Hörverlustes mehr stetig, im fortgeschrittenen Stadium (etwa nach 30 Jahren) eher beschleunigt.

Beurteilungspegel

Ziel jeder Lärmmessung ist es letztlich, die Wirkung des Lärms auf den Menschen zu erfassen. Dazu dient der sogenannte Beurteilungspegel. Dieser ist ein Maß für die durchschnittliche Geräuscheinwirkung während einer bestimmten Beurteilungszeit, wobei eine tägliche Arbeitszeit von 8 Stunden zugrunde gelegt wird. Auch die UVV Lärm geht von einem 8 Stunden-Beurteilungspegel aus. Bei kürzerer bzw. längerer täglicher Arbeitszeit muss der über diesen Zeitraum ermittelte Dauerschallpegel mittels einer Formel auf 8 Stunden normiert werden, um einen vergleichbaren Beurteilungspegel zu erhalten.

Dadurch werden z.B. 8 Stunden mit einem Pegel von 90 dB(A) ebenso bewertet wie 4 Stunden mit einem Pegel von 93 dB(A) oder 2 Stunden mit einem Pegel von 96 dB(A) oder 1 Stunde mit einem Pegel von 99 dB(A).

Der so ermittelte Beurteilungspegel kann schließlich zur Beurteilung des Geräuschpegels und der Gefährdung für den Menschen verwendet werden. Abb. 2 zeigt, dass z.B. bei einem Beurteilungspegel von 95 dB(A) eine Lärmschwerhörigkeit schon nach 6 bis 7 Jahren als „möglich“ anzusehen ist. Bei einem Pegel von 100 dB(A) gilt eine Lärmschwerhörigkeit nach 6 bis 7 Lärmjahren jedoch bereits als „wahrscheinlich“.

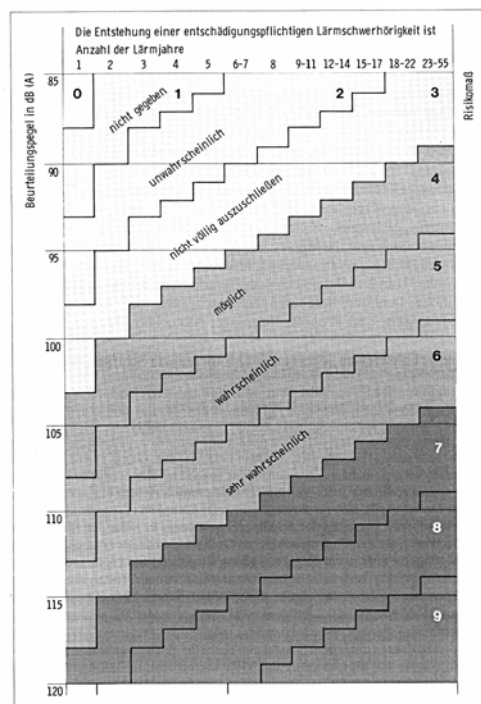


Abb. 2: Ermittlung des Risikomaßes bei einheitlicher Exposition (FELDMANN, 1984)

Lärmschutzvorschriften

Die wichtigsten Lärmschutzvorschriften sind die Unfallverhütungsvorschrift (UVV) oder Berufsgenossenschaftsvorschrift (BGV) „Lärm“ und die Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV).

Zusammengefasst beinhaltet die UVV/BGV "Lärm" an für die Arbeit mit Schleppern relevanten Regelungen:

- Der Betrieb ist verpflichtet zu prüfen, ob an den bestehenden Arbeitsplätzen gehörschädigender Lärm auftritt.
- Wird ein Beurteilungspegel von 85 dB(A) überschritten, sind persönliche Gehörschutzmittel zur Verfügung zu stellen (Watte, Stöpsel, Kapseln, Helme). Dieser Wert wird voraussichtlich ab dem 15. Februar 2006 in Umsetzung der EU-Richtlinie „Lärm“ (10/2003/EG) auf 80 dB(A) herabgesetzt werden.
- Erreicht der Beurteilungspegel in bestimmten Bereichen den Wert von 90 dB(A) oder mehr (Lärmbereiche), besteht für den Beschäftigten die Pflicht, einen geeigneten Gehörschutz zu benutzen (individueller Lärmschutz). Dieser Wert ist ab dem 15. Februar 2006 gemäß der EU-Richtlinie „Lärm“ (10/2003/EG) auf 85 dB(A) herabgesetzt worden.
- Der Betrieb muss Lärmbereiche kennzeichnen.
- Bei Neuanschaffung von Arbeitseinrichtungen muss darauf geachtet werden, dass diese dem fortschrittlichen Stand der Lärmschutztechnik entsprechen (technischer Lärmschutz).

Die Arbeitsstättenverordnung legt weitere Grenzwerte für die Lärmbelastung am Arbeitsplatz fest. Nach §15 sind z.Zt. folgende Beurteilungspegel einzuhalten:

- 55 dB(A) bei überwiegend geistiger Tätigkeit
- 70 dB(A) bei einfachen oder überwiegend mechanisierten Bürotätigkeiten (Schreibarbeiten) und vergleichbaren Tätigkeiten
- 85 dB(A) bei allen sonstigen Tätigkeiten

Der Beurteilungspegel von 85 dB(A) darf um 5 dB(A) überschritten werden, wenn der Pegel nicht in zumutbarer Weise einzuhalten ist. Gehörschädigender Lärm von 90 dB(A) und mehr ist nur mit Ausnahmegenehmigung zulässig und stets mit verschiedenen Verpflichtungen verbunden. Grundsätzlich ist der Schallpegel in Arbeitsräumen so „niedrig zu halten, wie es nach Art des Betriebes möglich ist“.

2.1.3 Lärmmessung

Die messtechnische Bestimmung der Lärmbelastung am Arbeitsplatz und deren Beurteilung, unabhängig von Art und Entstehung der Geräusche, ist in der Norm DIN 45 645 ausführlich beschrieben.

In der Praxis ist der zu messende Schallpegel nicht immer konstant, sondern kann zeitlich schwanken, impulshaltig sein oder durch Pausen unterbrochen werden. Um solche Schallpegel unabhängig von ihrer Art und Entstehung vergleichen zu können, muss der sogenannte Mittelungspegel gebildet werden. Man erhält als Ergebnis den sog. energieäquivalenten Dauerschallpegel L_{eq} . Für alle zeitlich gemittelten Schallpegel sind die Bezeichnungen energieäquivalenter Dauerschallpegel und Mittelungspegel als synonym anzusehen.

Bei der vorliegenden Untersuchung kam der Schallpegelmesser Mediator 2238 von Bruel & Kjaer (Abb. 3) zum Einsatz. Bei dem Gerät handelt es sich um einen „integrierenden Schallpegelmesser“. Dieser ist in der Lage, gleich während des Messvorgangs zu integrieren (= Bildung des Mittelungspegels) und die frequenzbewerteten Mittelungspegel fortlaufend anzuzeigen, insbesondere auch bei zeitlich schwankenden Geräuschen.



Abb. 3: Schallpegelmesser Mediator 2238 (Foto: Bruel & Kjaer)

Darüber hinaus verfügt das Gerät über einen Speicher von bis zu 511 Messungen, ein großes Display, auf dem bis zu 4 frei wählbare Messparameter angezeigt werden können, und über eine Kalibrierungsfunktion.

Messvorschriften für Schlepper

Die nachfolgend beschriebenen Messungen wurden gemäß der für die Bundesrepublik Deutschland verbindlichen EG-Richtlinie 77/311/EWG in Verbindung mit der Richtlinie 97/54 EG durchgeführt. In der Richtlinie 97/54 EG wird der Geltungsbereich der Richtlinie 77/311/EWG auf land- und forstwirtschaftliche Zugmaschinen auf Rädern mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h erweitert.

Gemäß EG-Richtlinie 77/311/EWG Artikel 2 Absatz 1 dürfen die Mitgliedstaaten die EWG-Betriebserlaubnis, die Betriebserlaubnis mit nationaler Geltung, den Verkauf, die Zulassung oder die Inbetriebnahme einer Zugmaschine aus Gründen des Geräuschpegels in Ohrenhöhe des Fahrers nicht verweigern, wenn dieser Geräuschpegel, gemessen unter den in der Richtlinie vorgesehenen Bedingungen, den Grenzwert von 86 dB (A) nicht überschreitet.

Die wesentlichen Messvorschriften dieser Richtlinie sind:

- Messgerät mit Anzeigegeschwindigkeit slow und A-Bewertung
- Mikrofonanordnung 250 mm seitlich der Sitzarmlehne, 790 mm über und 150 mm vor dem Sitz-Referenz-Punkt (SRP), Mikrofonmembran nach vorn gerichtet
- In erster Messreihe Fahrt mit serienmäßig geschlossenem Führerhaus
- In zweiter Messreihe geöffnete Türen und Fenster – falls ohne Gefährdung des Straßenverkehrs möglich – , jedoch eventuell aufklappbarer Windschutzscheibe in Schutzstellung
- Fahrten ohne Belastung, bei maximaler Motordrehzahl und einer Geschwindigkeit, die bei Motor-Nenn Drehzahl einer Vorwärtsgeschwindigkeit von 7,25 km/h am nächsten kommt
- 3 Wiederholungsfahrten von jeweils mindestens 10 Sekunden Dauer.

Der Schallpegelmesser Mediator 2238 wurde vor den Messungen mit dem akustischen Kalibrator 4231 gemäß den Handbucharweisungen kalibriert und auf die vorgeschriebene Frequenzbewertung (A) und Anzeigegeschwindigkeit (slow) eingestellt. Das Mikrofon des Messgerätes wurde in Ohrhöhe des Fahrers im definierten Abstand zum Bezugspunkt (SRP) angebracht. Der Umgebungsgeräuschpegel lag unter den maximal geduldeten 10 dB(A). Eine äußere Beeinflussung der Messergebnisse kann somit ausgeschlossen werden. Die Versuchstrecke verläuft auf einem Asphaltweg auf freiem Feld. Der Weg ist eben und war an allen Messtagen sauber und trocken.

Die Schlepper waren gemäß den geforderten Messbedingungen abgestimmt und überprüft worden, so dass die Messungen anhand der vorliegende Richtlinie für Messungen „ohne Last“ durchgeführt werden konnten.

Die erste Messreihe wurde mit geschlossenem Führerhaus, die zweite mit offenem Führerhaus gefahren, wobei bei der offenen Variante die Windschutzscheibe in der Schutzstellung belassen wurde und die Türen geschlossen blieben. Ansonsten wurden alle vorhandenen Öffnungen (Heckscheibe, ggf. Seitenscheiben, Dachluke) maximal geöffnet.

Vergleichbarkeit der Messergebnisse

Die Messungen sind nicht statistisch abgesichert. Es wurde lediglich die Reproduzierbarkeit der ermittelten Messwerte anhand von mehreren Wiederholungen überprüft. Dabei wurde festgestellt, dass unter den gleichen Messbedingungen die gleichen Messwerte ermittelt wurden. Die Ergebnisse sind somit unter den genannten Vorgaben untereinander und mit den gesetzlichen Grenzwerten vergleichbar.

Weitere Messreihen

Da Weinbauschlepper in der Praxis jedoch überwiegend nicht unter den beschriebenen Bedingungen der o.g. EG-Richtlinie eingesetzt werden, sollte eine zusätzliche Beurteilungsmöglichkeit durch erweiterte Messungen geschaffen werden. Hierzu wurden Lärmpegelwerte in Abhängigkeit von der Motordrehzahl ermittelt. Die Messungen wurden bei stehendem Schlepper ohne Belastung vorgenommen.

Ergänzend erfolgten Messungen mit den herstellereits bestimmten Motordrehzahlen, bei denen an der Zapfwelle die Normdrehzahl 540 min^{-1} bei „Normal-Stellung“ und bei „Spar-Stellung“ (sogenannte 750er-Zapfwelle) erreicht wird. Auch diese Messungen wurden im Stand ohne Last durchgeführt.

Messungen ohne Last spiegeln nur begrenzt praxisrelevante Gegebenheiten wider, zeigen allerdings zumindest eine Tendenz für den Einfluss der Motordrehzahl auf die Lärmbelastung auf.

2.2 Messung der Schwingungsbelastung

Es wird geschätzt, dass in Deutschland ca. 1,5 Mio. Arbeitnehmer am Arbeitsplatz Ganzkörper-Schwingungen ausgesetzt werden, wobei die Fahrer von Militärfahrzeugen, Erdbaumaschinen, Baustellen-LKW, landwirtschaftlichen Schleppern und Gabelstaplern am stärksten exponiert sind (KONIETZKO, DUPUIS, ROSE, 1996). In der vorliegenden Studie werden mechanische Schwingungen untersucht, die über Fahrwerk und Sitz auf den Fahrer übertragen werden. Anhand der gemessenen Schwingungsbelastungen, denen der Fahrer bei der Arbeit ausgesetzt wird, werden dann die zulässigen Werte der Einwirkdauer ermittelt, denn darüber hinaus gehende Arbeitszeiten können zu gesundheitsschädigenden Folgewirkungen führen.

2.2.1 Begriffe

Mechanische Schwingungen sind Bewegungen fester Masseteilchen um eine Ruhelage. Bei kraftschlüssigem Kontakt mit einem in Schwingung befindlichen Gegenstand kann eine Schwingungsübertragung auf den menschlichen Organismus erfolgen. Dabei wird zwischen **Ganzkörperschwingungen**, die über die Füße, das Gesäß und/oder den Rücken eingeleitet werden, sowie **Teilkörperschwingungen**, die über das Hand-Arm-System eingeleitet werden, unterschieden. Häufig werden mechanische Schwingungen synonym auch als Vibrationen oder Erschütterungen bezeichnet.

Bei den im Schlepperbetrieb größtenteils auftretenden mechanischen Schwingungen (vgl. DUPUIS, 1981) handelt es sich um dem Zufall unterworfenen regellosen, sogenannte „stochastische“ Schwingungen, bei denen es schwierig ist, die Federungs- und Dämpfungselemente diesem Schwingungsverhalten anzupassen.

Der im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wichtigste Begriff der Schwingungsmechanik ist die Frequenz der Schwingung (Anzahl der gleichsinnigen Umkehrungen der Schwingrichtung in der Sekunde). Für Ganzkörpervibration ist unter arbeitsmedizinischen Aspekten der Bereich von 1 bis 80 Hz, für Teilkörperschwingungen von 8 bis 1000 Hz von Bedeutung (Maßeinheit Hz = Anzahl je Sekunde).

2.2.2 Bewertung

Während der Arbeit ist der Mensch vielfachen mechanischen Schwingungen ausgesetzt. Werden diese z.B. über einen Sitz auf sein Gesäß und dann auf seinen Körper übertragen, spricht man von Ganzkörperschwingungen. Beim Betrieb von Schmalspurschleppern wird der Fahrer überwiegend den Wirkungen von Ganzkörperschwingungen ausgesetzt.

Die Schwingungsrichtungen werden dabei anhand der drei Achsen eines dreidimensionalen Koordinatennetzes definiert. Im Folgenden werden demnach die richtungsbezogenen Schwingungen als X- oder Y-Schwingung in horizontaler oder als Z-Schwingung in vertikaler Richtung bezeichnet (Abb. 4).

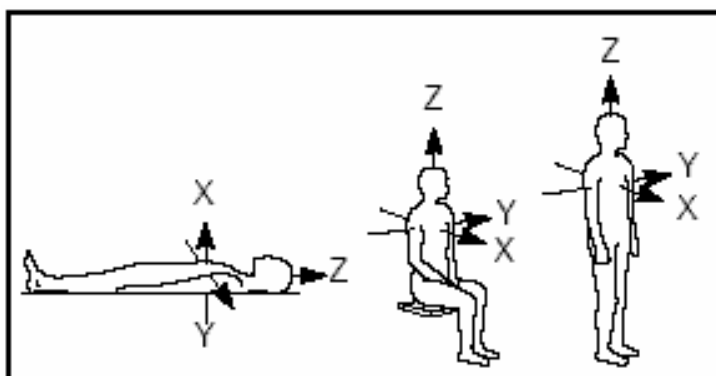


Abb. 4: Definition der Ganzkörper-Schwingungsrichtungen nach ISO 2631-1 (RIEDEL, 2000)

Die Wirkungen mechanischer Schwingungen auf den Menschen bezeichnet man als Schwingungsbeanspruchung. Die Höhe einer Schwingungsbeanspruchung wird nicht nur durch die Intensität (Amplitude) und durch die Frequenz der Schwingung bestimmt, sondern auch durch verschiedene Faktoren wie die Ankopplungskraft an die Schwingquelle, die Schwingungsrichtung,

die Einleitungsstelle, die Körperhaltung und natürlich die Expositionszeit. Dazu kommen noch individuelle Voraussetzungen des Schwingungsexponierten (Abb. 5).

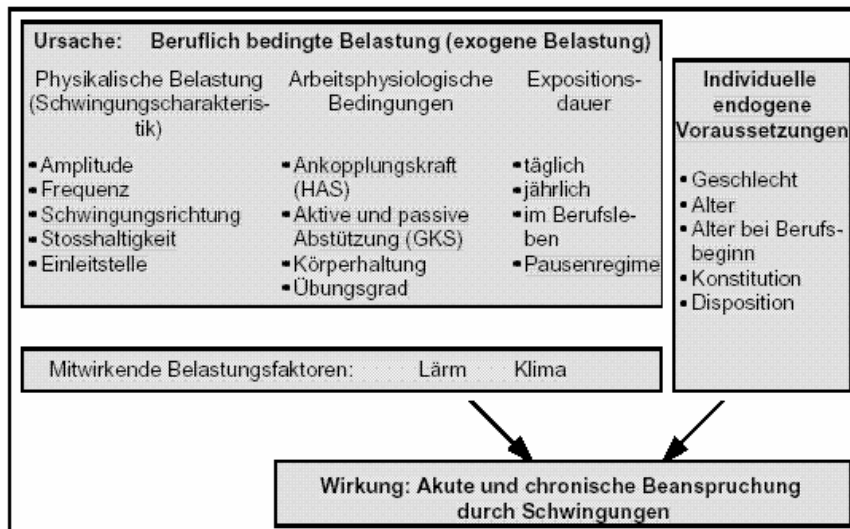


Abb. 5: Allgemeine Belastungsfaktoren (RIEDEL, 2000)

Wirkungen auf den Menschen

Ganzkörperschwingungen führen zu unterschiedlichen akuten und chronischen Reaktionen des menschlichen Körpers. Unter einer akuten Schwingungsbeanspruchung wird dabei die plötzliche und unmittelbare Reaktion des menschlichen Organismus bezeichnet. Bildet sich durch eine intensive und langjährige Belastung die Zustandsänderung des Organismus nicht mehr zurück, dann liegt eine chronische Schwingungsbeanspruchung vor. Nach mehreren Jahren kann bei einer chronischen Schwingungsbeanspruchung unter Umständen eine Reversibilität des Gesundheitsstatus eintreten, wenn die Schwingungsexposition ab einem Zeitpunkt unterlassen wird.

Jede Ganzkörperschwingung regt biomechanische Eigenschwingungen der Körperteile an, die in den einzelnen Körperteilen wegen der komplizierten Masse-, Dämpfungs- und Federeigenschaften der Gewebe und Organe sehr unterschiedlich ausgeprägt sein können. Ist nun die eingeleitete Erregerschwingung identisch mit der Eigenschwingung des Körpers oder Körperteils führt dies zu einer Amplitudenerhöhung aufgrund der Überlagerung dieser gleichartigen Schwingungen. Dies führt zu einer Verstärkung der Schwingung, und ihre Beschleunigung erhöht sich (Resonanz). Schwingungen im Resonanzbereich verursachen durch ihre große Beschleunigung besonders starke mechanische Beanspruchungen des menschlichen Körpers. Die unterschiedlichen Resonanzfrequenzen des Körpers und seiner Teile sind die Ursache dafür, dass bereits relativ geringfügige Eingangsschwingungen intensive biomechanische Schwingungen auslösen können und dass viele akute Reaktionen des Organismus eine deutliche Frequenzabhängigkeit aufweisen. So muss z.B. im Sitzen bei vertikaler Z-Schwingung mit Eigenfrequenzen zwischen 3 und 7 Hz gerechnet werden (vgl. DUPUIS, 1981). In diesem Frequenzbereich sind die Resonanzerscheinungen im Bereich des Rumpfes, der Wirbelsäule und des Magens besonders deutlich und verursachen genau die Gesundheitsschäden, die am häufigsten bei Schlepperfahrern nachgewiesen werden.

Physiologische Veränderungen bei akuter Schwingungsbeanspruchung

Der Mensch verfügt über kein spezielles Rezeptororgan für mechanische Schwingungsreize. Bei Schwingungsexposition versucht er daher, bewusst oder unbewusst den ausgesetzten Schwin-

gungen entgegenzuwirken, um seinen Organismus vor Schädigung zu bewahren. Für diese aktiven Körperbewegungen wendet er Muskelarbeit auf. Es ist dabei für ihn nur im begrenzten Maße möglich, auf stochastische (zufällige) oder stoßhaltige Schwingungen zu reagieren. Um die Eigenfrequenz und die Dämpfung so zu ändern, dass Resonanzwirkungen vermieden oder reduziert werden, wendet der Körper hauptsächlich statische Muskelarbeit an, die zu einem Verspannen des Körpers führt. Damit ist sowohl ein erhöhter Energieumsatz als auch eine verstärkte Belastung des Kreislaufs verbunden. Durch diese unbewussten Muskelkontraktionen kommt es zu einem Anstieg der Herzschlagfrequenz und des Blutdrucks. Im Resonanzbereich zwischen 4 und 5 Hz werden z.B. die inneren Organe so in Bewegung versetzt, dass sie gegen das Zwerchfell drücken; dies führt zu einer vermehrten Atmung bis hin zur Hyperventilation. Bei höheren Frequenzen ist darüber hinaus mit einer Blockierung normaler Reflexverläufe zu rechnen. Das heißt, im Laufe der Einwirkungszeit kommt es infolge der Reflexermüdung zu abnehmender Exaktheit der reflektorischen Körperhaltungskorrektur (vgl. DIESTEL, 1983). Des Weiteren wird auch die visuelle Informationsaufnahme durch Schwingungsbelastungen beträchtlich gestört.

Folgen chronischer Schwingungsbeanspruchung

Chronische Erkrankungen durch Ganzkörperschwingungen sind im Allgemeinen wenig spezifisch und schwer nachweisbar. Ein diesbezügliches Gesundheitsrisiko wird durch zusätzliche Faktoren wie parallel vorkommende körperliche Schwerarbeit unter Zwangshaltungen, Vorschädigungen und Alterseinflüsse mitbestimmt. Epidemiologische Untersuchungen konnten jedoch aufzeigen, dass Personengruppen, die lange Zeit Ganzkörperschwingungen ausgesetzt waren, in erhöhtem Maße degenerative Veränderungen in Bereich der Wirbelsäule aufwiesen. Seit 01.01.1993 wurde daher in der Berufskrankheitenverordnung (BeKV) die neue Berufskrankheit BK 2110 „ Bandscheibenbedingte Erkrankung der Lendenwirbelsäule durch langjährige, vorwiegend vertikale Einwirkung von Ganzkörperschwingungen im Sitzen...“ aufgenommen.

Neben den beschriebenen mechanischen Ganzkörperschwingungen kann der Mensch darüber hinaus an seinem Arbeitsplatz auch Belastungen durch extrem niedrig-frequente Schwingungen ausgesetzt sein. Sie kommen vorwiegend auf Schiffen oder in Flugzeugen, aber auch in weich gefederten Landfahrzeugen vor und können unterschiedliche Empfindungen hervorrufen. Am bekanntesten sind die **Kinetosen**. Sie gehen mit mehr oder weniger starker Übelkeit bis zu Kreislaufstörungen einher. Als Ursache wird eine Nichtübereinstimmung der vom Gleichgewichtssinn vermittelten Wahrnehmung mit der optischen und kinästhetischen Rezeption angenommen; die Anfälligkeit ist individuell unterschiedlich.

Subjektive Stärke der Wahrnehmung

Schwingungen werden oft als belästigend empfunden. Dies kann von einer Beeinträchtigung des Wohlbefindens bis zur Empfindung der Unerträglichkeit der einwirkenden Schwingungen oder gar Schmerzen in bestimmten Körperabschnitten oder Organen reichen, je nach persönlichem Empfinden des Menschen. Für das Ausmaß der menschlichen Beanspruchung spielen daher neben den objektivierbaren Wirkungen auch subjektiv erfassbare Auswirkungen auf den Menschen eine große Rolle. So ist der Grad der Lästigkeit, mit der die Erschütterung subjektiv empfunden wird, wichtig, um das Ausmaß der Beanspruchung beurteilen zu können.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Vibrationen neben akuten Schwingungsbeanspruchungen, die in der Regel „nur“ zu reversiblen und im allgemeinen rasch rückbildungsfähigen Wirkungen führen, darüber hinaus auch zu chronischen Gesundheitsveränderungen beitragen können. Das Problem bei diesen chronischen Erkrankungen ist, dass sie sich anfangs immer erst durch Schmerzen, deren Ursache meist im Verborgenen bleibt, bemerkbar machen. Die dies aus-

lösenden Gewebeschäden sind bei medizinischen Untersuchungen oftmals erst dann auf einem Röntgenbild zu erkennen, wenn es schon zu spät ist und eine chronische Erkrankung vorliegt.

Deshalb besteht ausdrücklich Veranlassung, alle gegebenen Möglichkeiten zum Schwingungsschutz des Menschen zu nutzen.

2.2.3 Schwingungsmessung

Bei der Schwingungsmessung sind als Faktoren zu berücksichtigen: Stellen der Schwingungseinleitung, Schwingungsrichtung, -amplitude, -frequenz, zeitabhängige Schwankungen von Amplitude und Frequenz sowie Einwirkungsdauer.

Bei den hier ausschließlich betrachteten Ganzkörperschwingungen auf Fahrerplätzen werden die Erschütterungen über den Sitz auf das Gesäß des Menschen übertragen.

Zur Schwingungsmessung werden heute fast ausschließlich Aufnehmer für Beschleunigungen verwendet. Diese sollen dabei in ihrem Gewicht so klein sein, dass sie das zu messende System nicht durch ihre Eigenmasse in seinem Schwingungsverhalten beeinflussen. Weiterhin müssen sie unmittelbar an der Einwirkungsstelle der Schwingungen in den Körper angebracht werden.

Messvorschriften

Ähnlich wie bei der Schallpegelmessung müssen auch die Ergebnisse der Schwingungsmessung bezüglich ihrer Frequenz und Zeit bewertet werden, um die Schwingungsbelastung auf den Menschen beurteilen zu können. Dabei wird die gemessene Schwingbeschleunigung mit frequenzabhängigen Funktionen bewertet. Als Ergebnis erhält man die sogenannten Frequenzbewertungskurven.

Seit der Herausgabe des internationalen Standards ISO 2631-1:1997 gelten neue Frequenzbewertungskurven für Ganzkörperschwingungen. In Deutschland sind diese mit der neugefassten VDI-Richtlinie 2057, Blatt 1 auch Bestandteil nationaler Vorschriften für die Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen. Die bisherigen, lediglich in Deutschland üblichen K-Werte sind durch die Effektivwerte der frequenzbewerteten Schwingbeschleunigung a_w abgelöst worden. Die Frequenz- und Zeitbewertungen werden in den Messgeräten durch installierte elektronische Bewertungsfilter automatisch durchgeführt, so dass der gewünschte Schwingungsbeschleunigungswert sofort ausgegeben wird. Mit Hilfe dieses Wertes lässt sich die zu erwartende Wirkung im Hinblick auf die Belastungskriterien Gesundheit, Wohlbefinden, Wahrnehmungsschwelle von Schwingungen und Kinetose in Abhängigkeit von der täglichen Expositionszeit aus einem Diagramm ablesen.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung stand jedoch für die Messungen nur ein Humanschwingungsmesser zur Verfügung, der nicht in der Lage ist, die in ISO 2631-1 : 1997 vorgeschriebenen Messbedingungen zu erfüllen, da er nicht mit den jetzt vorgeschriebenen Frequenzbewertungsfiltern ausgestattet ist.

Somit wurden die Messungen und Beurteilungen gemäß der Fassung der VDI-Richtlinie 2057 Blatt 1-3 von 1981 durchgeführt. Demnach muss als Maßstab für die menschliche Schwingungsbelastung die Schwingstärke K ermittelt werden. Der K-Wert ist eine Maßzahl, die den Zusammenhang zwischen objektiv messbarer Schwingbelastung einerseits und subjektiver Wahrnehmung, biomechanischem Schwingungsverhalten und bestimmten physiologischen Veränderungen andererseits wiedergibt. Sie wird aus den physikalischen Messgrößen, vorzugsweise der Schwingungsbeschleunigung, durch festgelegte frequenzabhängige und für verschiedene Einwirkungsarten unterschiedliche Bewertungen ermittelt.

Der K-Wert lässt die zu erwartende Wirkung im Hinblick auf die Kriterien Wohlbefinden, Leistung und Gesundheit in Abhängigkeit von der täglichen Expositionszeit (s. Abb. 6) angeben.

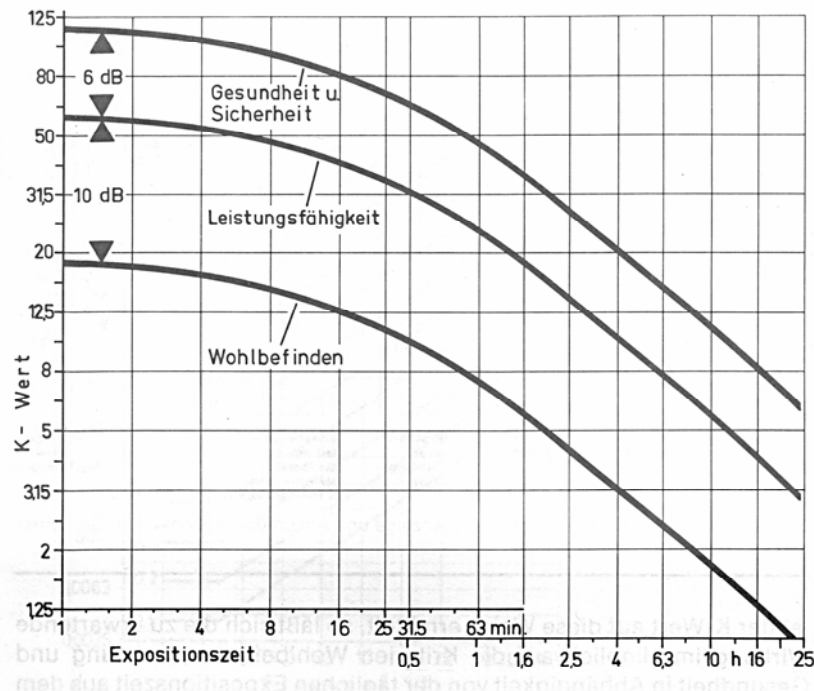


Abb. 6: Richtwertkurven für die bewertete Schwingstärke K in Abhängigkeit von der täglichen Einwirkdauer (DUPUIS, 1981)

So muss beispielweise damit gerechnet werden, dass bei einem ermittelten K-Wert von 20 nach etwa 1,5 h die Leistungsfähigkeitsgrenze überschritten wird und nach 4 h täglicher Exposition bei mehrjähriger Einwirkung die Gesundheit gefährdet wird.

Messgeräte

Bei dem verwendeten Messgerät handelt es sich um den Human-Schwingungsmesser Typ 2512 in Verbindung mit einem Triaxial-Sitz-Beschleunigungsaufnehmer vom Typ 4322 der Firma Brüel & Kjaer. Letzterer wurde speziell zur Messung von Ganzkörperschwingungen entworfen.

Der Beschleunigungsaufnehmer wurde gemäß dem in der EG-Richtlinie 77/311/EWG Anhang III definierten Sitzbezugspunkt (SRP) auf dem Sitz angebracht.



Abb. 7: Human-Schwingungsmesser Typ 2512 (Fa. Brüel & Kjaer)

Die für die VDI-Richtlinie 2057 (alte Fassung) gültigen Messbedingungen können mit der verwendeten Messtechnik verwirklicht werden.

Der Human-Schwingungsmesser ist mit den entsprechenden Filtern zur Frequenzbewertung sowie Funktionen für die Zeitbewertung ausgestattet und ermöglicht damit die Charakterisierung von Schwingungen durch einen einzigen Parameter. Die Bewertungsfilter des 2512 stimmen dabei mit den geforderten Normen und Richtlinien für Human-Schwingungen überein.

Da bei der Arbeit mit dem Schmalspurschlepper überwiegend Ganzkörperschwingungen in Z-Richtung auftreten, wurden im Rahmen dieser Arbeit auch nur diese gemessen und ausgewertet. Die Schwingungen werden dabei in zwei unterschiedliche Frequenzbereiche eingeteilt

Ganzkörperschwingungen 1 bis 80 Hz

Es werden drei Belastungsgrenzen unterschieden:

- **Unbehagensgrenze**
Die Einwirkdauer bis zur Unbehagensgrenze ist am ehesten erreicht. Ab Überschreiten der Grenzwerte, werden die Schwingungen als lästig empfunden; der Mensch fühlt sich unwohl.
- **Leistungsbeeinträchtigungsgrenze**
Die Einwirkdauer bis zum Überschreiten dieser Grenzwerte liegt schon wesentlich höher. Wird die Leistungsbeeinträchtigungsgrenze überschritten, äußert sich dies durch Ermüdungserscheinungen, nachlassende Feinmotorik, Sehschwächen, Konzentrationsschwächen usw.
- **Einwirkungsgrenze**
Diese Grenze zeigt den höchsten Grenzwertverlauf auf. Wird die zulässige Einwirkdauer bei täglicher Exposition und mehrjähriger Einwirkung überschritten, kann dies, neben den voran angesprochenen Auswirkungen, zu chronischen Gesundheitsschäden führen, wie z.B. Bandscheibenerkrankungen, Veränderungen des Magen-Darm-Traktes usw.

Ganzkörperschwingungen 0,1 bis 0,63 Hz

Bei der Prüfung werden hier folgende zwei Grenzen unterschieden.

- Unbehagensgrenze

Diese Grenzwerte können z.B. durch zu weich gefederte Sitze erreicht werden. Ihre Auswirkungen sind jedoch aufgrund der niedrigen Schwingungsstärken sehr gering und dürften über ein Unwohlgefühl nicht hinausgehen.

- Leistungsbeeinträchtigungsgrenze

Dass die Leistungsbeeinträchtigungsgrenze im Bereich der niederfrequenten Schwingungen erreicht wird, kann bei der durchzuführenden Untersuchung nahezu ausgeschlossen werden.

Der vom Messgerät angezeigte energieäquivalente Dauerpegel L_{eq} ist der konstante Pegel, der in der Messperiode die gleiche Energie geliefert hätte wie der tatsächlich vorhandene schwankende Pegel. Für die Ergebnisse von Ganzkörperschwingungsmessungen über eine relativ kurze Periode und in der Betriebsart L_{eq} lassen sich aus Abbildung 8 die maximal zulässigen Einwirkdauern entnehmen.

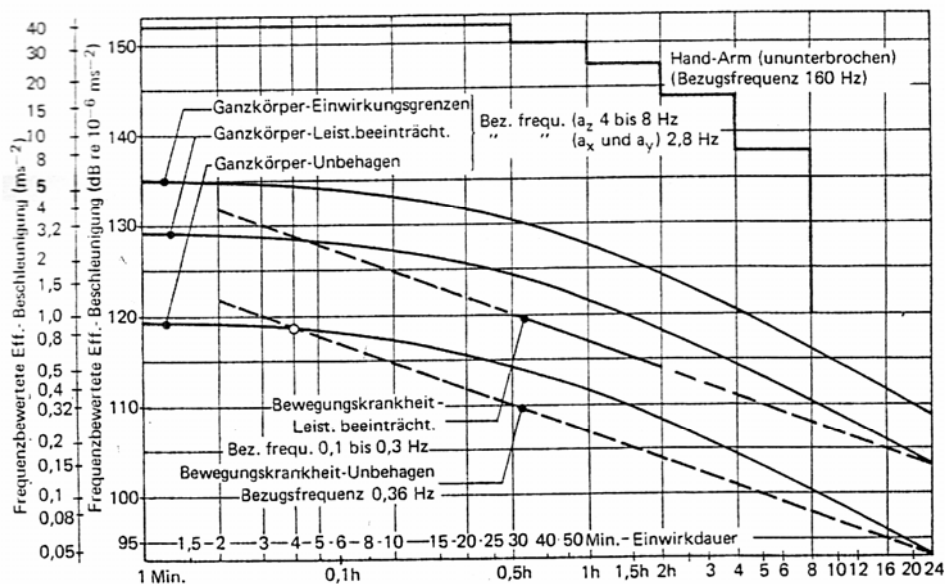


Abb. 8: Zeitbewertungsfunktionen des 2512 (Bruel & Kjaer, Datenblatt, S. 5)

Als Beispiel: Gemessen wurde die Einwirkungsgrenze der Ganzkörperschwingung zwischen 1-80 Hz. Als L_{eq} Wert werden 121 dB auf dem Gerätedisplay angezeigt. Um die Einwirkdauer zu ermitteln, muss man die oberste Funktionskurve (Ganzkörper-Einwirkungsgrenzen) zu Hilfe nehmen. Am Schnittpunkt der Kurve mit dem Y-Achsen-Wert bei 121 dB kann an der X-Achse die zulässige Einwirkdauer abgelesen werden, in diesem Fall knapp 4 h. Würden also diese Schwingungsbelastungen über einen Zeitraum von länger als 4 h einwirken, können sie gesundheitliche Schäden hervorrufen. Nach diesem Verfahren wurden für alle gemessenen Schwingungseinwirkungen die jeweiligen Zeitgrenzen, d.h. die zulässigen Werte der Einwirkdauer, ermittelt.

Praktische Durchführung der Messungen und Vergleichbarkeit der Messergebnisse

Abweichend von den Sitzprüfungen der zu Grunde gelegten VDI-Richtlinie 2057 (alte Fassung) wurden nur die Beschleunigungen in vertikaler Richtung (Z-Schwingungen) gemessen, da dies die Richtung mit den größten auftretenden Beschleunigungen ist (RÜHLING, STRUCK, UHL, 1989).

Des Weiteren wurden anstelle der in der Richtlinie vorgesehenen Fahrtgeschwindigkeit von 12 km/h die praxisnäheren Werte von etwa 25 km/h und 35 km/h als Straßen-Fahrtgeschwindigkeiten gewählt: 25 km/h ist die erlaubte Höchstgeschwindigkeit mit nachlaufenden Arbeitsgeräten und Ilo-Anhängern; 35 km/h ist die praxisübliche Geschwindigkeit bei längeren Fahrstrecken mit oder ohne Anbaugeräten.

Als feste Prüfbahn wurde ein ebener Wirtschaftsweg (s. Abb. 22, rechts) inmitten von Weinbergen gewählt, wie er repräsentativ in jedem Weinanbaugebiet zu finden ist (ca. 25 % der Testdistanz asphaltiert, Rest mit Betonfahrdecke). Da viele Rebflächen der meisten Weinbaubetriebe im Streubesitz liegen, ist der Anteil von Fahrten auf dieser Art von Wirtschaftswegen in der Regel sehr hoch. Alle Messungen auf fester Fahrbahn wurden beim Befahren dieses selben Wirtschaftsweges durchgeführt. Es wurde die Reproduzierbarkeit der ermittelten Messwerte anhand von mehreren Wiederholungen überprüft. Dabei war festzustellen, dass unter den gleichen Messbedingungen die nahezu gleichen Messwerte ermittelt wurden. Die Messungen sind jedoch nicht statistisch abgesichert. Durch die beschriebene Vorgehensweise können die Messergebnisse praxisübliche und etwa konstante Einsatzbedingungen widerspiegeln. Eine mit definierten Prüfbahnen vergleichbare, kontrollierte Schwingungserregung und damit exakt reproduzierbare Versuchsbedingungen waren allerdings nicht gegeben.

Auch der Einfluss der unterschiedlichen Bereifung der Versuchsschlepper konnte in den Messungen nicht gänzlich ausgeschaltet werden. Um einen möglichen Einfluss auf ein Minimum zu reduzieren, wurden jedoch alle Schlepper mit dem gleichen Reifenluftdruck getestet. Bis auf die Knickschlepper wurde bei allen anderen der Luftdruck an der Vorderachse auf 1,5 bar, an der Hinterachse auf 1,2 bar eingestellt. Bei Carraro und Holder wurde aufgrund der gleichdimensionierten Vorder- und Hinterachsbereifung an beiden Achsen ein Luftdruck von 1,5 bar gewählt.

Somit ist für jedes Testfahrzeug eine in sich schlüssige Aussage zu den verschiedenen Belastungsarten zulässig, unter der o.g. einschränkenden Bedingung der verschiedenen Ausstattungen auch eine Gegenüberstellung der Messergebnisse.

Zur Einschätzung der Veränderung der Schwingungsbelastung durch grundsätzlich geänderte Einsatzbedingungen wurden weitere Messfahrten mit nur einem einzigen Schlepperfabrikat (Fendt) exemplarisch durchgeführt. Hierbei wurde – soweit möglich – jeweils nur ein Einsatzparameter variiert, wie z. B. Fahrbahnoberfläche, Breite der Bereifung, Reifenluftdruck, Fahrgeschwindigkeit oder Radstand/Fahrzeuglänge.

Alle Versuche wurden mit einem 185 cm großen Fahrer mit einem Körpergewicht von 80 kg durchgeführt. Die jeweiligen Sitze wurden vor den Messungen entsprechend ihrer Möglichkeiten optimal auf das Fahrergewicht und die Fahrergröße eingestellt. Wenn der Sitz über Federung in Längs- oder Querrichtung verfügte, wurde diese blockiert.

2.3 Messung von Klimafaktoren

Die klimatischen Verhältnisse stellen einen wesentlichen Teil der ergonomischen Faktoren eines Arbeitsplatzes dar. Sie haben in der Regel zwar keine unmittelbar gesundheitsschädliche Wirkung auf den Menschen, können aber doch bei lang anhaltender schlechter Qualität die entsprechenden Folgen nach sich ziehen.

Im Rahmen dieser Untersuchung soll anhand der durchgeführten Messungen gezeigt werden, wie sich die Qualität des Klimas bei verschiedenen Außenbedingungen mit oder ohne Einsatz einer Klimaanlage verhält. Die Messungen sind bewusst als Feldversuche ausgerichtet, die Messvor-

gaben sollen Praxisbedingungen im Weinbau angepasst sein. Somit ist eine Vergleichbarkeit mit definierten Labor- oder Außenbedingungen nicht gegeben.

2.3.1 Physikalische Größen

Nach ZÜLCH U. VON KIPARSKI (1999) ist das Klima nicht als eine einzige physikalische Größe darstellbar. Es erweist sich vielmehr als ein Sammelbegriff mehrerer Einflussfaktoren, welche unterschiedlich erfasst werden müssen. Eine vollständige Beschreibung des Klimas am Arbeitsplatz erfolgt durch vier voneinander unabhängige Klimagrundgrößen: Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftgeschwindigkeit und mittlere Strahlungstemperatur. Durch diese vier Klimagrößen kann jedes Klima vollständig erfasst werden. „Im ergonomischen Sinne ist Klima der Sammelbegriff für alle physikalischen Größen, die die Wärmebilanz des Körpers beeinflussen“ (vgl. DUPUIS, 1981).

Lufttemperatur

Die Temperatur ist die Klimagrundgröße, welche am häufigsten zur Messung des Klimas verwendet wird. Sie ist leicht und genau zu messen und kann somit immer für eine grobe Analyse eines Klimas verwendet werden.

Luftfeuchte

Nach ZÜLCH U. VON KIPARSKI (1999) wird für die Beschreibung der Luftfeuchte zwar zwischen absoluter und relativer Feuchte unterschieden, verwendet wird jedoch im Allgemeinen die relative Luftfeuchte φ . Diese gibt den Grad der Sättigung der Luft mit Wasserdampf bei gegebener Temperatur, üblicherweise in der Einheit %, an.

Luftgeschwindigkeit

Die Luftgeschwindigkeit wird mit dem Formelzeichen v in der Einheit m/s angegeben. Je nach Strömungsgeschwindigkeit kann die Luft das Wohlbefinden beeinflussen. So kann eine zu geringe Luftbewegung in Zusammenhang mit hoher Luftfeuchte sehr schnell als Schwüle wahrgenommen werden. Im Gegensatz dazu können durch zu hohe Luftgeschwindigkeiten schnell Zugerscheinungen auftreten.

Wärmestrahlung

Durch Wärmestrahlung kann der Mensch aus seiner Umgebung Wärme aufnehmen oder abgeben. Sie stellt z.B. bei der Arbeit an Hochöfen in der stahlverarbeitenden Industrie einen wichtigen Belastungsfaktor dar. Die Wärmeübertragung erfolgt dabei durch Strahlung zweier Körper mit unterschiedlichen Temperaturen, ohne dass ein leitendes Medium, wie zum Beispiel Luft, zwischengeschaltet ist. Die Größe des Energieaustausches ist abhängig von der jeweiligen absoluten Temperatur der Körper. Der Wärmeaustausch zweier Körper vollzieht sich immer von warmer in Richtung kälterer Oberfläche. Trifft Wärmestrahlung auf einen Körper, kann sie entweder absorbiert, reflektiert oder transmittiert werden.

2.3.2 Bewertung

Zur Bewertung der Ergebnisse der durchgeführten Versuche sind physiologische Grundgegebenheiten zu berücksichtigen. Im Folgenden sollen die hierbei relevanten Aspekte, die den menschlichen Körper betreffen, erläutert werden.

Thermoregulation

Da der Mensch zu den „warmblütigen“ Lebewesen gehört, kann eine Abweichung weniger Grade vom Normalbereich der Körpertemperatur (ca. 37 °C) unbehagliche Wärme- oder Kälteempfindungen auslösen. Die Folge daraus können geistige und körperliche Leistungsabnahme und gegebenenfalls auch Krankheitserscheinungen sein. Nach WENZEL U. PIEKARSKI (1980) bleibt die Körpertemperatur nur dann unverändert, wenn die Wärmebilanz des Körpers ausgeglichen ist, das heißt Wärmegewinn und Wärmeabgabe einander entsprechen. Beide Größen ändern sich im Tagesablauf ständig. Daraus resultiert, dass der Mensch die Möglichkeit benötigt, ständig Wärmegewinn und Wärmeverlust des Körpers aufeinander abzustimmen. Selbst bei erheblichen Schwankungen der Temperaturen wird die Körperkerntemperatur durch diese Thermoregulation gehalten und nicht wesentlich verändert.

Entscheidend für die Beurteilung ist, dass stets sowohl die klimatischen Einflussgrößen (Temperatur, Bewegung und Wasserdampfdruck der Umgebungsluft sowie Strahlungstemperatur der Umgebung) als auch die nicht klimatischen Einflussgrößen (körperliche Tätigkeit, Wärmebildung im Körper, thermischer Widerstand der Bekleidung) Auswirkungen auf die thermischen Vorgänge und somit die thermische Behaglichkeit haben. Es ist also nur eingeschränkt möglich, durch Betrachtung lediglich einzelner Größen, wie z.B. der Temperatur, eine allumfassende Aussage über die gesamte thermische „Situation“ zu treffen. Außerdem existieren sehr komplexe Zusammenhänge der Körperfunktionen wie die Anpassung der Hautdurchblutung bei Wärme und Kälte, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden muss.

Klimabereiche

Für Arbeitsplätze werden vier Klimabereiche unterschieden (vgl. DIN 30 3403, Teil 1): Kältebereich, Behaglichkeitsbereich, Erträglichkeitsbereich und Unerträglichkeitsbereich. Im Rahmen dieser Untersuchung sind nur der Behaglichkeitsbereich und der Erträglichkeitsbereich von Bedeutung (s. Abb.9).

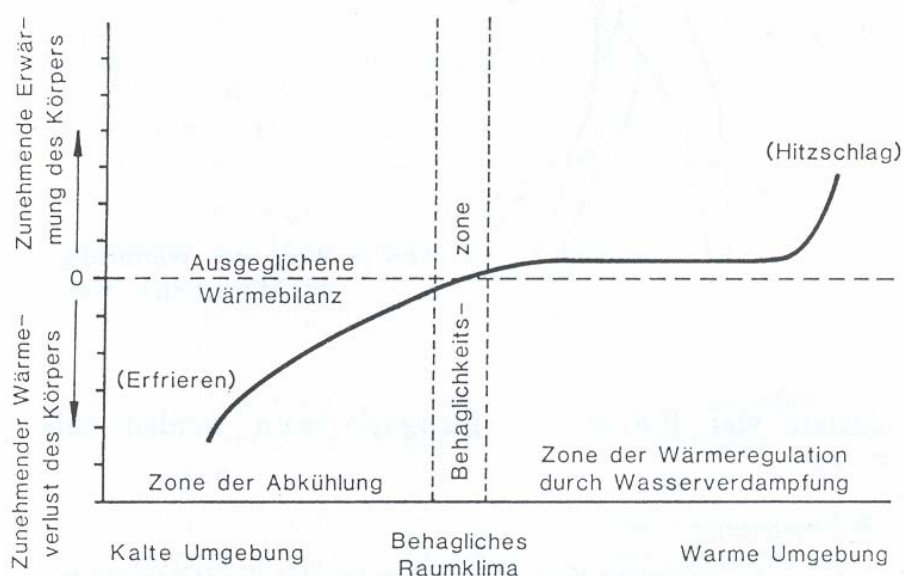


Abb. 9: Die Wärmebilanz des Körpers bei verschiedenen Klimabedingungen (vgl. EISSING ET AL., 1986)

Im „Behaglichkeitsbereich“ fühlt sich der menschliche Körper am wohlsten. Dieser Bereich lässt sich jedoch nicht streng begrenzen, da neben den Klimaparametern eine Reihe von weiteren Einflussfaktoren wie Kleidung, Geschlecht, Alter, Jahreszeit, Beleuchtung, Gerüche, Stresssituationen

nen, Nahrungsaufnahme und physisches sowie psychisches Wohlbefinden zu berücksichtigen sind. Der Behaglichkeitsbereich ist jener Zustand, der üblicherweise an Arbeitsplätzen vorliegen sollte. Er ist thermisch als weitgehend neutral anzusehen: Im Idealfall ist die Wärmezu- und -abfuhr ausgeglichen.

Im Erträglichkeitsbereich liegen Belastungssituationen sowie klimatische Verhältnisse vor, die zu erhöhten Schweißabgaben und Beanspruchung des Herz-Kreislauf-Systems führen und bei längerer Einwirkung zu Störungen des Klimaempfindens führen. Diese Belastungssituationen führen nicht unmittelbar zu gesundheitlichen Schäden, jedoch wird die Leistungsfähigkeit des Menschen herabgesetzt. Durch entsprechende Arbeitspausen, Zuführung von Mineralstoffen in Form von Flüssigkeit und angemessene Kleidung können in der Regel gesundheitliche Probleme ausgeschlossen werden.

Da diese zwei angesprochenen Bereiche sehr eng zusammen liegen, sind nach Literaturangaben folgende Grenzwerte für den Behaglichkeitsbereich und den Erträglichkeitsbereich einzuhalten:

- Lufttemperatur: 20 °C bis 26 °C, bei sehr hohen Außentemperaturen (Sommer) auch darüber

Dabei sollte der vertikale Lufttemperaturunterschied zwischen Fuß- und Kopfbereich nicht mehr als 3 °C betragen.

- relative Luftfeuchte: 30 % bis 70 %

Eine relative Luftfeuchte zwischen 30 % und 70 % hat in der Regel nur einen geringen Einfluss auf das Temperaturempfinden, sollte aber die genannten Werte nicht überschreiten. Liegen die Werte der relativen Luftfeuchtigkeit über 60 – 80 % - abhängig von der Lufttemperatur -, wird das Klima als schwül empfunden und die Schweißrate des Körpers steigt somit an. In keinem Fall sollte die Luftfeuchte jedoch unter 30 % liegen (Abb. 10).

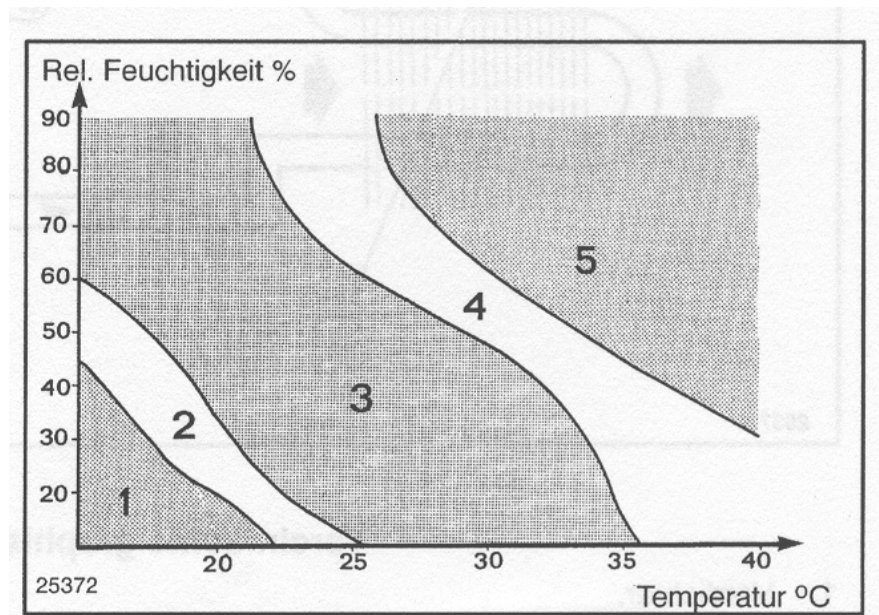


Abb. 10: Vereinfachtes psychrometrisches Diagramm: 1=Empfindung unerträglicher Kälte; 2=Empfindung von Kälte; 3=Behaglichkeitsbereich; 4=Empfindung von Wärme; 5=Empfindung unerträglicher Wärme (vgl. NEW HOLLAND, 1998)

- Luftgeschwindigkeit: kleiner 0,15 m/s, aber Luftbewegung

Ganz ohne Luftgeschwindigkeit endet der Behaglichkeitsbereich bei einer Raumtemperatur von 23 °C.

Nach EISSING ET AL. (1986) sollte die zulässige Luftgeschwindigkeit $< 0,25$ m/s bei einer Temperatur von 24 °C nicht überschreiten. Darüber kommt es zu einer Zegerscheinung und somit zu einer lokalen Abkühlung des Körpers durch Luftbewegung. Diese Zegerscheinung stellt eine unerwünschte örtliche Konvektionskühlung des Körpers dar und ist die am häufigsten auftretende Ursache für Beschwerden in gelüfteten Räumen. Ein weiterer Bewertungsmaßstab für das Empfinden solcher Zegerscheinungen ist der sogenannte „Turbulenzgrad“: Je geringer der Turbulenzgrad, desto geringer sind die gefühlten Zegerscheinungen durch die Luftströmung.

Auswirkung klimatischer Belastung

Durch ungünstige klimatische Bedingungen am Arbeitsplatz kann eine Minderung des Wohlbefindens und der Arbeitsfreude auftreten. Die körperliche Leistung wird gemindert und auch die Aufmerksamkeit, das Denk- und Reaktionsvermögen sind beeinträchtigt. Daraus resultieren eine erhöhte Unfallgefahr und ein erhöhtes Erkrankungsrisiko. Die Haut des menschlichen Körpers ist mit Kältefühlern wesentlich dichter belegt als mit Warmfühlern. Besonders Kaltfühlreaktionen an den Füßen führen dazu, dass die Temperatur-Regelzentrale im Zwischenhirn Abwehrmaßnahmen gegen zu starke Unterkühlung einleitet. Dies führt zu verstärkten Stoffwechselprozessen, die sich in Gänsehaut und einer Drosselung der Schleimhautdurchblutung äußern. Da sich aber durch schlecht durchblutete Nasen-, Rachen- und Mundschleimhaut die Infektionsgefahr durch Erkältungskrankheiten erhöht, sind kalte Füße am Arbeitsplatz besonders zu vermeiden (vgl. GÖHLICH, 1987). Bei relativer Luftfeuchte unter 30 % können die Schleimhäute der Atemwege und Augen austrocknen, so dass sich die Anfälligkeit gegenüber Erkältungskrankheiten erhöhen kann. Beachtenswerte Auswirkungen auf die Herzfrequenz und somit die Kreislaufbeanspruchung in feucht-warmer Umgebung treten erst bei Temperaturen über 30 °C auf.

2.3.3 Messprinzipien und Messgeräte

Zur Messung der Klimagrundgrößen kommen je nach Einsatzort und Einsatzbedingungen verschiedene Messgeräte zum Einsatz, die teilweise sehr unterschiedlich arbeiten. Erfassung und Berechnung des Klimas kann auch mit sogenannten Klima- oder Behaglichkeitsanalysatoren vorgenommen werden. Da diese Geräte jedoch sehr teuer sind, werden die Messungen üblicherweise mit Einzelmessgeräten durchgeführt und müssen mit Hilfe von Diagrammen oder durch Ermittlung von Kenngrößen ausgewertet werden.

Zwar sind zu einer vollständigen Beschreibung des Klimas die Faktoren Temperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung und Wärmestrahlung von Bedeutung. Im Rahmen dieser Untersuchung konnte jedoch die Wärmestrahlung nicht berücksichtigt werden. Denn in Feldversuchen unterliegt die Wärmestrahlung durch Sonneneinstrahlung hohen Schwankungen in kurzen Zeitabständen. Die sehr teuren Wärmestrahlungsmessgeräte sind nicht in der Lage, kurzzeitige Wärmestrahlungen zu erfassen. Nach DUPUIS (1981) reicht es demnach zur Beurteilung von landwirtschaftlichen Arbeitsplätzen aus, die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchte und die Luftgeschwindigkeit messtechnisch zu erfassen.

Lufttemperatur

Bei den Temperaturmessungen innerhalb der Schlepperkabinen kam ein Datenlogger 175-T2 der Firma Testo zum Einsatz. Bei diesem Gerät handelt es sich um ein Trockenthermometer, das nach dem Prinzip eines Widerstandsthermometers funktioniert. Der Datenlogger besitzt einen internen NTC-Sensor (Messbereich von -35 °C bis $+70$ °C, im Bereich von -25 °C bis $+70$ °C Abweichung von $\pm 0,3$ °C) und einen weiteren Fühlereingang, der mit einem externen Luftfühler (NTC Sensor, Messbereich von -50 °C bis $+150$ °C, im Bereich von -25 °C bis $+75$ °C Abwei-

chung von $\pm 0,2$ °C, Kabellänge von 1,2 m) ausgestattet ist. Die Temperaturanpassung des internen Sensors verläuft etwas träger als beim externen Sensor, da sich der Messfühler im Innern des Gerätes befindet. Das Testgerät erfüllt die Richtlinien gemäß Norm EN 12830.

Um – zumindest orientierend – die Außentemperatur während der Testfahrten zu messen, wurde ein gewöhnliches Max/Min-Thermometer mit Außensensor benutzt. Maximale Messfehler liegen laut Hersteller im Bereich von 0 °C bis +50 °C bei ± 1 °C. Die Messung der Außentemperaturen wurde durch Wetterdaten aus dem Institut für Rebenzüchtung (BfZ Geilweilerhof) in Siebeldingen, ca. 4 km vom Standort der Versuchsfahrten entfernt, unterstützt.

Relative Luftfeuchte

Zur Messung der Luftfeuchte wurde das Messgerät 608-H1 der Firma Testo benutzt. Das Gerät misst sowohl Feuchte und Temperatur in °C und ist mit einem kapazitiven Feuchtesensor (NTC-Sensor) ausgestattet, der seine Kapazität in Abhängigkeit der Umgebungsfeuchte ändert. Der Messbereich liegt zwischen 10 und 95 % relativer Luftfeuchte mit einer Genauigkeit von ± 3 % relativer Luftfeuchte im Bereich um 25 °C. Das Messgerät erlaubt eine preiswerte, schnelle und präzise Messung bei ausreichend großer Messspanne. Das Gerät ist konform mit der Norm EN 61326-1:1997.

Luftgeschwindigkeit

Zur Messung der Luftgeschwindigkeit wurde sowohl ein thermisches als auch ein mechanisches Anemometer der Firma E. Schiltknecht ing. sia benutzt. Wegen nicht vorhandener Eichung des Gerätes ist das Messergebnis nicht wissenschaftlich absicherbar und dient nur als grober Richtwert.

Messpunkte

Bei der Wahl der Messpunkte am Arbeitsplatz muss bedacht werden, dass die Bedingungen an verschiedenen Punkten differieren können und ob dieses Auswirkungen auf die thermische Behaglichkeit hat. Um den vertikalen Lufttemperaturunterschied messen zu können, wurde das Temperaturmessgerät so befestigt, dass der interne Messsensor in Kopfhöhe war und der externe Fühler im Fußbereich (Höhe 20 cm). Die Fühler wurden im Versuch aus Gründen der Wärmestrahlung mit Aluminiumfolie abgeschirmt. Die Luftfeuchte wurde oberhalb des Armaturenbrettes gemessen und befand sich so je nach Schlepperausführung oder Ausführung der Luftleitkanäle und deren Einstellung meist im direkten Luftstrom der Gebläseluft.

Die Messung der Luftgeschwindigkeit stellte sich schwierig dar, da die o.g. sehr niedrigen Grenzwerte für Luftbewegung mit den zur Verfügung stehenden Messgeräten nicht feststellbar waren. So wurde die Luftgeschwindigkeit letztendlich direkt an den Verteilerdüsen der Klimaanlage bei jeder Gebläsestufe bestimmt. Hierzu wurden alle Verteilerdüsen geöffnet, um die Geschwindigkeit der ausströmenden Luft direkt zu messen. Ebenso wurde die Luftgeschwindigkeit jeweils im Kopfbereich gemessen.

Versuchsschlepper

Für die Klima-Untersuchungen kamen exemplarisch Schlepper der Firmen Fendt, Krieger und New Holland zum Einsatz. Diese Fabrikate verfügen über eine starke Verbreitung im Direktzug-Weinbau.

Versuchsaufbau

Die Messungen wurden, um den Praxisbedingungen gerecht zu werden, beim Verrichten regulär anfallender Arbeiten im Weinberg durchgeführt. Bei einer Messreihe (Fendt, New Holland) wurde Pflanzenschutz (Pflanzenschutzgerät Fa. Vicar mit Radialgebläse) betrieben. Bei einer zweiten Messreihe (Fendt, Krieger) wurde Bodenpflege in Form von Mulchen (Sichelmulcher) durchgeführt. Somit kann davon ausgegangen werden, dass bei den genannten Arbeiten die Versuchsschlepper keine Arbeit verrichten mussten, bei der nennenswert Wärmestrahlung ausgehend von heißem Hydrauliköl oder großer Motorbelastung entstand. Bei den verschiedenen Messreihen wurden stets die gleichen – ebenen – Weinberge befahren, so dass die Motorbelastung immer vergleichbar war.

Bei den Messungen wurde jede Gebläsestufe der jeweiligen Klimaanlage getestet. Die Gebläse der Testschlepper sind dreistufig ausgeführt. Die Temperaturregelung wurde bei jeder Messung – unabhängig von der Gebläsestufe – auf die kälteste Position eingestellt, da keiner der Versuchsschlepper eine exakte Temperaturvorwahl anbietet.

Die Außentemperatur sowie die relative Luftfeuchte wurden in Abständen von 10 Minuten in ein Messprotokoll eingetragen. Die Aufzeichnung der Temperatur in Kopf- sowie im Fußbereich erfolgte intern im Messgerätespeicher.

2.4 Bewertungen von Fahrerplätzen

Die Bewertungen des Fahrerplatzes der Testschlepper erfolgte anhand einer einheitlichen Checkliste (s. Anhang). Die Einzelkriterien wurden dabei in folgende Bereiche gegliedert:

- Einstieg
- Arbeitsplatzabmessungen
- Fahrersitz
- Klimaanlage/Heizung
- Sichtverhältnisse
- Anzeigeelemente
- Bedienelemente
- Sicherheit

Jeder dieser Bereiche enthält mehrere Einzelmerkmale, die durch möglichst konkrete Fragestellungen zur Bewertung vorgesehen waren. Die Vielzahl der Einzelkriterien wurde auf solche begrenzt, die ohne Einblick in die Bedienungsanleitung, quasi bei der „ersten Begegnung“ mit dem Fahrzeug, für eine fachkundige Person beurteilbar sind. Weitere Funktionen, die eher selten genutzt werden müssen, wurden ausgeklammert, um den Aufwand für die Bewertung in vertretbarem Rahmen zu halten.

Als Bewerter fungierten Kleingruppen (2 – 4 Personen) mit genügend Sachverstand im Umgang mit Schmalspurschleppern: Erfahrene Praktiker sowie Fachschüler und Berufsschüler (3. Ausbildungsjahr) des DLR Rheinpfalz.

Die Prüfer wurden gebeten, die Einzel-Merkmale mit Schulnoten von 1 (= sehr gut) bis 5 (= mangelhaft) zu bewerten. Außergewöhnlich positive oder negative Bewertungen, d.h. Bewertungen mit den Noten 1, 4 oder 5, waren verbal zu begründen. Ausdrücklich aufgefordert wurden die Bewerter, möglichst neutral, also unbeeinflusst vom Schlepperfabrikat, ihre Urteile zu fällen. Aus organisatorischen Gründen erfolgten die Bewertungsrounden nicht zum selben Termin; durch die

Aufstellung der Testschlepper in den geschlossenen Räumlichkeiten des DLR Rheinpfalz wurde jedoch eine „laborartige“ Bewertungssituation geschaffen, die einen Vergleich der Bewertungsergebnisse zulässig macht. Eine identische Anzahl von Bewertungen je Schlepper konnte aus Termingründen nicht erreicht werden; eine genügend große Zahl von mindestens 35 Bewertungsbögen (Ausnahme sind Case und Carraro mit je 14 Bewertungen) liefert jedoch eine verlässliche Basis für gültige Aussagen.

Die Durchschnittsnoten in den einzelnen Bewertungsbereichen wurden mit Hilfe von – gemäß der Bedeutung des jeweiligen Kriteriums festgelegten – Gewichtungsfaktoren als gewogenes Mittel berechnet; diese Gewichtungsfaktoren sind in den entsprechenden Ergebnistabellen dargestellt.

3 Untersuchte Schmalspurschlepper

Die untersuchten Schlepper-Modelle zeigt Abbildung 11, deren technische Daten enthält Tabelle 1. Es handelte sich dabei um Fahrzeuge, die uns von Herstellern oder Händlern in „marktüblicher Ausstattung der Leistungs-Klasse 50-60 kW“ zur Verfügung gestellt wurden; da keine genauen Vorgaben gemacht wurden, war, wie die Tabelle erkennen lässt, eine recht große Bandbreite an Ausstattungsmerkmalen vertreten. Somit ist ein direktes Vergleichen der verschiedenen Fabrikan nach streng wissenschaftlichen Kriterien nicht zulässig: Dies entsprach auch nicht dem ATW-Auftrag, vielmehr sollen die Messergebnisse praxisrelevante Aussagen erlauben und die Positionierung eines „Kandidaten“ im „Feld“ gängiger Schleppermodelle zeigen. Zwei Testkandidaten (Carraro, Holder) werden bei den Ergebnissen außerhalb der alphabetischen Reihenfolge dargestellt, da sie durch ihre Bauweise als Knicklenker sowohl vom Fahrwerk her als auch durch die räumliche Distanz zwischen Motor und Fahrerplatz nicht mit den Standard-Schleppern vergleichbar sind. Weitere Schmalspurschlepper anderer Hersteller wurden uns, trotz z.T. wiederholter Kontaktaufnahme, leider nicht für die Untersuchung zur Verfügung gestellt.



2003



2004

Abb. 11: Getestete Schlepper 2003 und 2004 (Beschreibung s. auch Tab. 1)

Tab. 1: Untersuchte Schmalspurschlepper mit ihren wichtigsten technischen Daten

Marke / Modell	Motor / Kühlung	Bereifung h / v	Kabine / Auspuff	Sitz
Carraro SRX 9400 (Knicklenker)	VM Motori, 4 Zylinder Turbolader 61 kW /83 PS Wasserkühlung	340/65 R 18 340/65 R 18	Zilio (I) <i>vor linkem Vorderrad nach unten links</i>	Cobo – MT (I) Mechanisch
Case JXV 1075	Iveco, 3 Zylinder Turbolader 56 kW /76 PS Wasserkühlung	360/70 R 24 240/70 R 16	CNH (I) <i>links vor Kabine nach oben vorne</i>	Cobo – MT (I) Luftgedfedert
Deutz Agrocompact 90	Same, 4 Zylinder Saugmotor 59 kW /80 PS Wasserkühlung	380/70 R 28 280/70 R 18	Same/Deutz-Fahr (I) <i>links unter Kabine nach unten links</i>	Grammer (D) Mechanisch
Dexheimer 480 Si	Iveco, 4 Zylinder Turbolader 59 kW /80 PS Wasserkühlung	360/70 R 24 280/70 R 16	Lochmann (I) <i>links unter Kabine nach unten links</i>	Grammer (D) Luftgedfedert
Eicher JDS 75 VAC	John Deere, 3 Zyl. Turbolader 55 kW /75 PS Wasserkühlung	320/70 R 24 240/70 R 24	Lochmann (I) <i>links unter Kabine nach unten links</i>	Cobo – MT (I) Luftgedfedert
Fendt Farmer 207 V	Deutz, 3 Zylinder Turbolader 51 kW /70 PS Luftkühlung	320/85 R 24 280/70 R 16	Fendt (D) <i>links unter Kabine nach unten links</i>	Grammer (D) Luftgedfedert
Holder C 770 H (Knicklenker)	Deutz, 4 Zylinder Turbolader 51 kW /70 PS Ölkühlung	275/80 R 18 275/80 R 18	Holder (D) <i>links vor Kabine nach oben</i>	Grammer (D) Luftgedfedert
Krieger K 80 A	Deutz, 4 Zylinder Turbolader 58 kW /80 PS Ölkühlung	360/70 R 24 260/70 R 16	Mauser (A) <i>links vor Kabine nach oben</i>	Grammer (D) Luftgedfedert
Massey- Ferguson 3325 GE	Perkins, 3 Zylinder Turbolader 47 kW /64 PS Wasserkühlung	360/60 - 14 280/60 -15.5	Same/Deutz-Fahr (I) <i>links unter Kabine nach unten links</i>	Cobo – MT (I) Luftgedfedert
New Holland TN 75 V	Iveco, 3 Zylinder Turbolader 52 kW /71 PS Wasserkühlung	320/85 R 24 240/70 R 16	CNH (I) <i>links unter Kabine nach unten links</i>	Grammer (D) Luftgedfedert
Renault Dionis 140 *	Deutz, 4 Zylinder Saugmotor 56 kW /76 PS Luftkühlung	380/70 R 24 10.0/75 - 15.3	Brieda (I) <i>links unter Kabine nach unten links</i>	ISRI (D) Mechanisch

(* = Modell inzwischen nicht mehr am Markt)

4 Untersuchungen zur Lärmbelastung in Kabinenschleppern

4.1 Messergebnisse

4.1.1 Lärmpegel am Fahrerohr – offene und geschlossene Kabine

Die Ergebnisse der Testfahrten ohne Last bei Höchst-Motordrehzahl, dargestellt als Lärmpegel am Ohr des Fahrers, sowohl bei geschlossener Kabine als auch bei geöffneter Front- und Heckscheibe zeigt Abbildung 12.

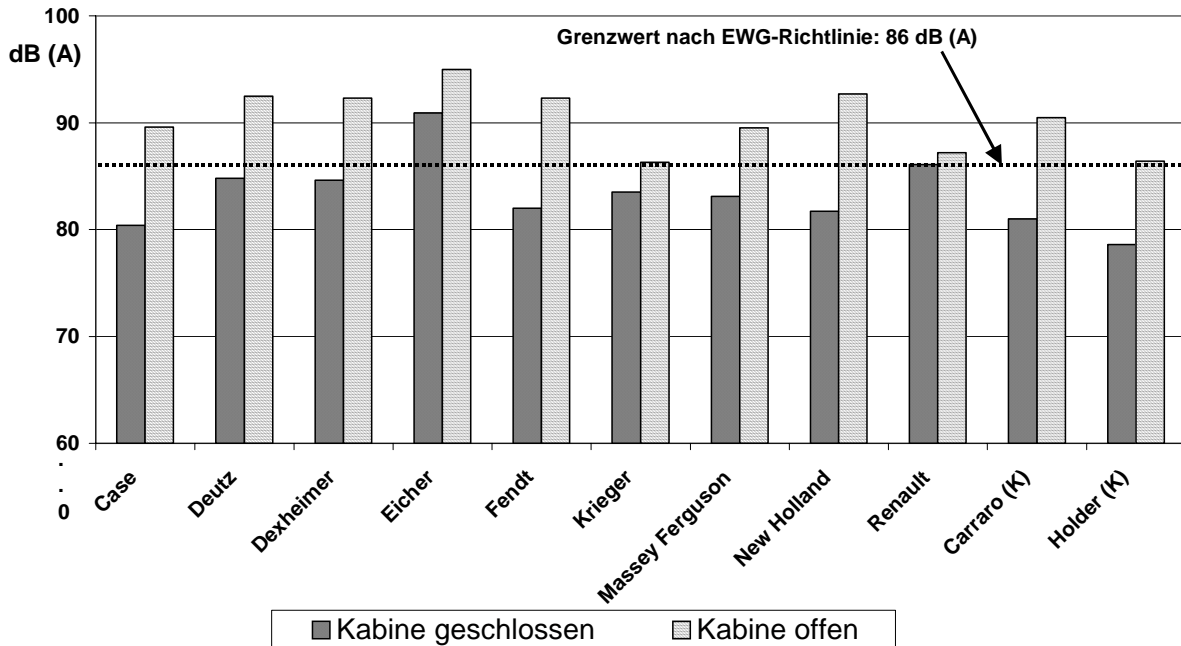


Abb. 12: Lärmpegel am Fahrerohr

Die eingezeichnete Linie bei 86 dB(A) markiert die Grenze, deren Einhaltung bei geschlossener Kabine Grundbedingung zur Inbetriebnahme einer Zugmaschine gemäß EWG-Richtlinie ist. Der Schlepper von Eicher überschreitet diese Grenze deutlich, während der Renault-Schlepper die Grenze noch knapp einhalten konnte. Die übrigen Fabrikate lagen mit einem Mittelwert bei unseren Messungen von 82,2 dB(A) um knapp 4 dB(A) unter diesem Grenzwert. Die Ergebnisse zeigen weiterhin, dass – von einzelnen Ausnahmen abgesehen – die getesteten Schlepper bei Fahrt mit geschlossener Kabine auch den bei der Messung geltenden Arbeitsschutz-Grenzwert der Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft (LBG) von 85 dB(A), der die Bereitstellung von Gehörschutzmitteln durch den Arbeitgeber erforderlich macht, einhalten konnten.

Bei geöffnetem Führerhaus stieg bei sechs von elf Testschleppern der Lärmpegel auf Werte um 90 dB(A) und mehr an; der Mittelwert aller Fabrikate lag hier bei 90,4 dB(A). Dies macht laut LBG derzeit die tatsächliche Benutzung der Schallschutzmittel zur Vermeidung von Gehörschäden zwingend erforderlich. Insofern ist eine Schallpegelreduzierung um über 10 dB(A), wie sie zwei Testschlepper (Fendt, New Holland) beim Schließen der Kabine erreichten – gerade bei den gemessenen relativ hohen Lärmpegeln mit offener Kabine –, ein enormer Sicherheitsgewinn in gesundheitlicher Hinsicht. Das andere Extrem stellten hierbei die Messwerte beim Schlepper der Firma Renault dar, dessen lärmindernde Wirkung bei geschlossener Kabine lediglich eine Reduzierung des Lärmpegels um 1,1 dB(A) brachte. Auch bei der subjektiven Beurteilung konnte

von den Prüfpersonen kein Unterschied zwischen geschlossenem und geöffnetem Fahrerhaus wahrgenommen werden. Die Kabine erfüllt bei diesem Modell wohl nur eine Wetterschutzfunktion. Durch eine schalltechnisch optimierte Kabine, mit der wie oben beschriebene Lärminderungen von bis zu 11 dB(A) möglich sind, würde der Renault hinsichtlich der Schallmessung einen Spitzenplatz belegen.

Die beiden Knickschlepper bewiesen ihre konstruktionsbedingten Vorteile in puncto Lärmbelastung: Durch die Trennung der Fahrwerksteile für Motor und Fahrerplatz ist offensichtlich eine geringere Körperschall-Übertragung gegeben, was sich in eindeutig messbar niedrigeren Lärmpegeln auswirkte. Beim Holder-Schlepper verfügte darüber hinaus die getestete Ausführung über die „Dual-Drive-Antriebstechnik“, bei der im Test-Geschwindigkeitsbereich der Antrieb hydrostatisch erfolgt. Somit sind wenig direkte mechanische Verbindungen zum Getriebe vorhanden, da der Antrieb elektronisch angesteuert wird. Des Weiteren war das getestete Modell mit einer CAN-Bus-Steuerung für die Arbeitshydraulik ausgestattet. Die Steuerung der kompletten Hydraulikanlage erfolgt elektronisch über einen Joystick, so dass auch dadurch keine Verbindung von der Hydraulikanlage in die Kabine besteht. Im Zusammenspiel all dieser Maßnahmen ergab sich die niedrigste Lärmbelastung.

Eine klare Tendenz der Lärmeinwirkung am Fahrerohr im Zusammenhang mit dem Kühlsystem des Motors (Luftkühlung oder Flüssigkeitskühlung) oder der Motoraufladung (Abgasturbolader oder Saugmotor) ließ sich bei den Messungen nicht erkennen. Mögliche aus den verschiedenen Ausführungen resultierende Geräuschunterschiede wurden offenbar von anderen Geräuschquellen überlagert. Eine überraschend deutliche Aussage kann aus den Messungen bezüglich verschieden angeordneter Auspuff- und Schalldämpfersysteme (über der Motorhaube nach oben oder unter der Kabine zur Seite) getroffen werden: Der Lärmpegel lag bei der Auspuffverlegung unter die Kabine durchschnittlich um 3,5 bis 4 dB(A) höher als bei den (nur) drei Schleppern mit über der Motorhaube angeordnetem Auspuff-Endschalldämpfer. Bei ersteren scheint sich die Körperschall-Übertragung in die Kabine durch die räumliche Nähe doch negativ auszuwirken.

4.1.2 Lärmpegel bei verschiedenen Motordrehzahlen

Das Messergebnis der von der Motordrehzahl abhängigen Lärmpegel zeigt Abbildung 13.

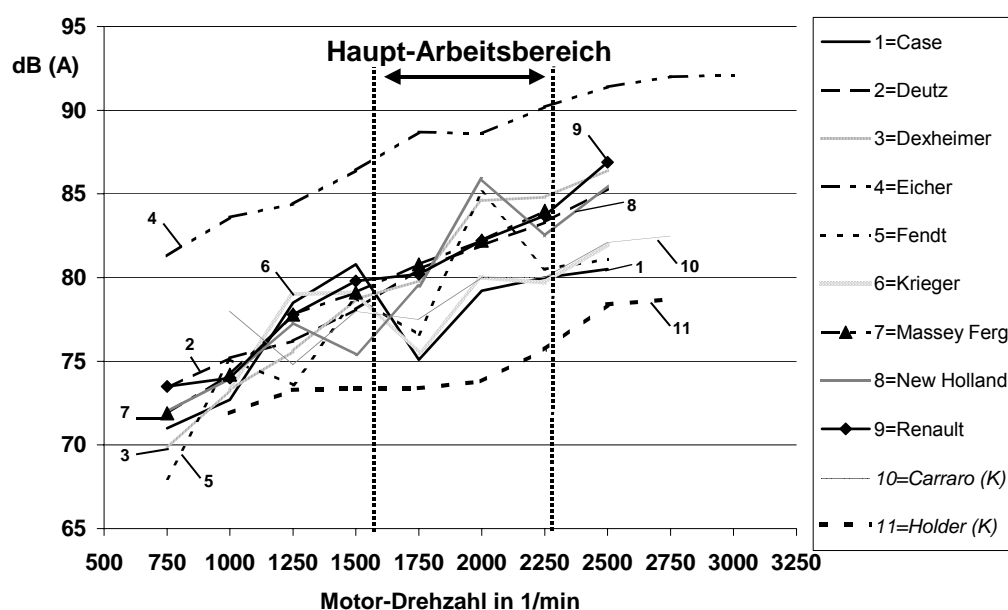


Abb. 13: Lärmpegelwerte am Fahrerohr in Abhängigkeit von der Motordrehzahl

Aus der Schar der – generell im Trend ansteigenden – Lärmpegel-Verlaufskurven sind die Vorzüge der schon erwähnten Fabrikate zu erkennen. Die unterschiedlich ausgeprägten Schwankungen über das Drehzahlband ergaben sich tatsächlich bei den Messungen und wurden in der Darstellung nicht geglättet. Ursachen hierfür im konkreten Einzelfall zu ergründen und zu benennen, übersteigt die Möglichkeiten der eingesetzten Messtechnik, da dazu eine Analyse nach Tonfrequenzen nötig wäre; diese ließe womöglich erkennen, wo sich z.B. bei einer bestimmten Drehzahl eventuell Resonanzen ergeben, die bei der nächst höheren Stufe wieder verschwinden. So ließe sich auch ein Absinken des Lärmpegels im Verlauf mancher Kurve erklären.

Auch die Steilheit der Verläufe stellt sich unterschiedlich dar. So beginnt die Kurve des New Holland-Schleppers bei Standgas auf niedrigem Niveau, endet jedoch bei dieser Standmessung bei Maximaldrehzahl bei über 85 dB(A); auffällig ist ein steiler Anstieg von 1500 bis 2000 min⁻¹. Andere Schlepper zeigten ein relativ gleichbleibendes Emissionsverhalten, wie z.B. der Schlepper von Krieger, der ab 1250 min⁻¹ einen Lärmpegel von ca. 79 dB(A) ± 3 dB(A) aufweist.

Abschließend lässt sich festhalten, dass abgesehen vom Eicher-Schlepper alle Fabrikate im Hauptarbeitsbereich von 1600 bis 2300 min⁻¹ den kritischen Lärmpegel von 85 dB(A) einhalten, z.T. sogar ganz deutlich unterschreiten.

4.1.3 Lärmpegel bei Zapfwellenarbeiten

Die Lärmpegel bei den für den Einsatz von zapfwellengetriebenen Arbeitsgeräten erforderlichen Motordrehzahlen wurden in einer gesonderten Messreihe ermittelt – aus messtechnischen Gründen ohne Last (Abb. 14).

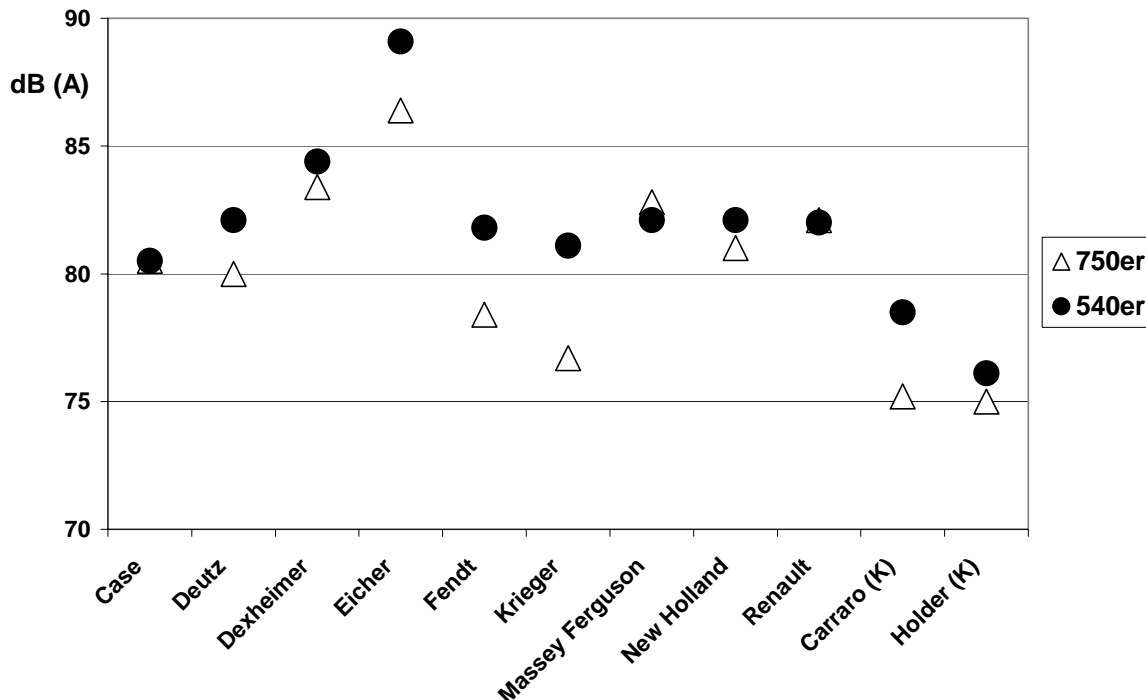


Abb. 14: Lärmpegelwerte bei Zapfwellendrehzahl 540 min⁻¹

Auch wenn die Messdaten der verschiedenen Fabrikate sehr unterschiedlich ausfielen, was den lärm mindernden Effekt der Spazapfwelle angeht, bleibt dennoch eine durchschnittliche Lärmre-

duzierung von ca. 1,5 dB(A) festzustellen. Somit ist das Arbeiten mit Sparsapfwelle auch aus diesem Grund der Fahrerentlastung, wo technisch möglich, sinnvoll.

4.2 Diskussion der Messergebnisse

Zunächst soll nochmals darauf hingewiesen werden, dass die Ergebnisse des vorliegend durchgeführten Tests gemäß der EG-Richtlinie 77/311/EWG bzw. der Messungen im Stand nicht ohne Weiteres in alle Bereiche der Praxis übertragen werden können, da bei der Arbeit in der Rebzeile sehr differenzierte Bedingungen bezüglich der Lärmentwicklung und vor allem der Lärmausbreitung bestehen. Dennoch können sie den jeweiligen Stand der Entwicklung der verschiedenen Anbieter bezüglich der Geräuschdämmung innerhalb der Kabinen widerspiegeln und lassen somit ein aussagekräftiges Urteil über die Lärmbeeinträchtigung des Fahrers zu.

Zur besseren Beurteilung der Lärmsituation bzw. Lärmschädigung vor dem Hintergrund der Messergebnisse seien die wichtigsten Zusammenhänge noch einmal kurz zusammengefasst und den Ergebnissen der Messung gegenübergestellt:

- Gemäß EG-Richtlinie 77/311/EWG Artikel 2 Anhang II dürfen die Messergebnisse den Grenzwert von 86 dB(A) bei der Messung mit geschlossener Fahrerkabine nicht überschreiten.

Anhand der Messergebnisse wird deutlich, dass die meisten Schlepper einen Beurteilungspegel von unter 86 dB (A) in der geschlossenen Kabine aufweisen. Nur der Schlepper der Firma Eicher bildet eine Ausnahme mit einem gemessenen Wert von 90,9 dB (A).

- Ab einem Beurteilungspegel ≥ 85 dB(A) treten reversible und bei längerer Einwirkungsdauer mit zu kurzen Erholungszeiten irreversible Beeinträchtigungen der Hörfähigkeit ein. Bei täglich wiederholter Belastung kommt es nach einer bestimmten Expositionszeit zur Lärmschwerhörigkeit. Bei einem Beurteilungspegel ≥ 85 dB(A) – künftig 80 dB(A) - hat der Arbeitgeber dem Arbeitnehmer Gehörschutzmittel kostenlos zur Verfügung zu stellen.

Die Ergebnisse zeigen, dass - von einer gravierenden Ausnahme abgesehen - die getesteten Schlepper bei Fahrt mit geschlossener Kabine zwar den momentanen Arbeitsschutz-Grenzwert der Landw. Berufsgenossenschaft von 85 dB(A) einhalten konnten, aber nur ein Fabrikat auch die ab 2006 geltenden 80 dB(A) unterschritt.

- Bei einem Schallpegel über 85 dB(A) bedeutet eine Pegelerhöhung um 3 dB(A) eine Verdoppelung des Risikos einer Lärmschwerhörigkeit. Bei einer Schallpegelabnahme um 10 dB(A) tritt eine Halbierung der subjektiven Lautstärkeempfindung ein.

Vor diesem Hintergrund ist eine Schalldämmwirkung durch eine geschlossene Fahrerkabine von 10 dB(A) und mehr, wie sie bei einzelnen der Testschlepper gemessen werden konnte, als enormer gesundheitsrelevanter Vorteil zu werten. Auch die Reduzierung des Lärmpegels bei den betreffenden Fabrikaten durch Einsatz der „Sparsapfwelle“ und die dadurch verringerte Motordrehzahl ist aus dieser Sicht positiv einzuschätzen.

- Bei einem Beurteilungspegel ≥ 90 dB(A) – künftig ab 85 dB(A) - muss der Arbeitnehmer diese Gehörschutzmittel benutzen. Des Weiteren sollten ab diesem Pegel arbeitsmedizinische Untersuchungen im Abstand von nicht mehr als drei Jahren durchgeführt werden.

Bei geöffnetem Führerhaus zeigten sich große Unterschiede in der Wirkung der Maßnahmen der verschiedenen Hersteller, den Lärmpegel des Schleppermotors abzusenken. Hier schafften es lediglich die Schlepper von Krieger, Renault und Holder aus der Reihe der getesteten Fahrzeuge, selbst bei offenem Führerhaus einen „relativ“ gesundheitsunschädlichen Lärmpegel von deutlich unter 90 dB(A) einzuhalten; die Fabrikate Case und Massey-Ferguson lagen nach den vorliegenden Ergebnissen noch knapp unter der 90 dB(A)-Grenze, bei den anderen Schleppern wurde sie überschritten. Eine besondere Bedeutung erhält diese Tatsache dann, wenn bei einem Arbeitseinsatz im Weinberg zur Bedienung oder Steuerung eines Arbeitsgerätes eine Kabinenöff-

nung offen gehalten werden muss: Dann ist mehrheitlich die Benutzung von Schallschutzmitteln unumgänglich, ab 2006 bei allen Testkandidaten! Andererseits muss auch, damit die Schallminderung der geschlossenen Kabine richtig zur Wirkung kommt, die Klimatisierung der Kabine ausreichend leistungsfähig sein (s. Kap. 6.2); denn ein sonst naheliegendes Öffnen z.B. der Frontscheibe in Schutzstellung zur Belüftung und Abkühlung des Führerhauses bringt wieder die entsprechende inakzeptable Lärmimmission mit sich.

- Bei einem Beurteilungspegel von 95 dB(A) ist die Entstehung einer Lärmschwerhörigkeit nach 18 Lärmjahren wahrscheinlich.

Diesen Extremwert erreichte bei den Messungen nur ein Fabrikat, bei den Standmessungen mit ansteigender Motordrehzahl ohne Last keiner der Testschlepper.

4.3 Maßnahmen zur Lärminderung

Lärmschutzmaßnahmen umfassen administrative, planerische, aufklärende und technische Maßnahmen, von denen im Rahmen dieser Untersuchung ausschließlich auf Letztere ausführlicher eingegangen werden soll.

Die administrativen Maßnahmen umfassen alle gesetzlichen Regelungen des Lärmschutzes durch Bundesgesetze und Verordnungen (z.B. Bundesimmissionsschutzgesetz, Arbeitstättenverordnung, VerkehrslärmschutzVO) sowie entsprechende Verordnungen und Richtlinien der einzelnen Bundesländer.

Zu den planerischen Maßnahmen gehört eine Vielzahl von Möglichkeiten, die die Minderung der Entstehung von Lärm zum Ziel haben. Hierunter fällt z.B. der Schallschutz im Städtebau, in Gebäuden oder bei der Planung von Verkehrswegen.

Einen ähnlichen Stellenwert haben aufklärende Maßnahmen. Durch ein entsprechend lärmbewusstes Verhalten lassen sich in vielen Bereichen die Lärmbelastigungen stärker reduzieren, als dies mit ausschließlich technischen Mitteln nötig wäre. Schon durch ein entsprechendes Lärmbewusstsein der Konsumenten werden Hersteller von Produkten dazu bewegt, Wert auf lärmarme Konstruktionen zu legen.

Technische Maßnahmen

Zu den technischen Maßnahmen gehören konstruktive Verbesserungen (= aktiver Schallschutz) und passiver Schallschutz. Konstruktive Verbesserungen können in Primär- und Sekundärmaßnahmen differenziert werden.

Primäre Maßnahmen

- Die Lärmbekämpfung sollte an der Stelle ihrer Entstehung ansetzen. Dies können z.B. die Vermeidung von Resonanzschwingungen, Beseitigung von Unwuchten, Verwendung schrägverzahnter Metallzahnräder und die Konstruktion günstiger Verbrennungsräume und Strömungskanäle sein.
- An der lautesten Lärmquelle sind zuerst Minderungsmaßnahmen anzusetzen.
- Gleichlaute Lärmquellen sollen gemeinsam bekämpft werden.

Durch Geräuschkennfelder konnte nachgewiesen werden, dass die Geräuscentwicklung des Schleppermotors relativ stark drehzahlabhängig, dagegen vergleichsweise wenig lastabhängig ist (DUPUIS, 1981). Dieser Parameter bietet also wenige Ansatzmöglichkeiten zur Lärminderung, zumal bei Schleppermotoren wegen der ohnehin schon relativ geringen Drehzahlen eine weitere Drehzahlabenkung kaum realisierbar ist.

Bei aufgeladenen Motoren kann durch eine geänderte Geometrie oder Funktionsweise der Luftschaufeln der Turbinenräder des Turboladers (z.B. durch Verwendung von variablen Turbinenrädern) nicht nur eine Lärminderung, sondern auch eine verbesserte Motorcharakteristik erreicht werden. Allein durch eine schalloptimierte Montage des Turboladers und seines Überdruckventils könnte der Lärm reduziert werden. So wurde im Test ein deutlich vernehmbares „Pfeifen“ des Turboladers bei dem Schlepper der Firma Dexheimer von den Testpersonen als auffällig angesehen, während dieses Geräusch bei den aufgeladenen Motoren der anderen Hersteller nicht wahrgenommen wurde.

Ein weiterer Ansatzpunkt der Schallminderung liegt bei der Verringerung der Verbrennungsgeräusche. Aufgrund der hohen Einspritzdrücke der Motoren entsteht das typische Dieselnageln als entsprechend lautes Verbrennungsgeräusch. Durch geänderte Brennräume, Einspritzverläufe oder -düsengeometrie können diese Geräusche vermindert werden.

Auch die verwendeten Materialien des Motors spielen eine wichtige Rolle bei der Geräuschentwicklung. So sollten generell nur solche Materialien verwendet werden, die eine geringe Eigenresonanz aufweisen (z.B. dünner Guss, Aluminium, Magnesium, Kohlefasern).

Weiterhin kann die Kühler-Lüfteranlage durch eine geänderte aerodynamische Gestaltung und Verbesserung der Zu- und Abströmbedingungen eine Geräuschverminderung bewirken (WITTE, 1982). Allein durch die Absenkung der Drehzahl des Lüfters wird die Lärmabstrahlung vermindert. Da bei den meisten Motorenmodellen der Lüfter unmittelbar beim Anlassen des Motors mit Motordrehzahl mitläuft, sollten alle Motoren mit Hitzesensoren und Viscokupplungen oder Elektromotoren für die Lüfter ausgestattet sein, um diese unnötige Lärmquelle zu minimieren. Der Lüfter sollte sich erst bei Bedarf zuschalten, um dann mit angepasster Drehzahl seine Kühlarbeit zu verrichten.

Eine weitere primäre Lärminderungsmaßnahme ist der Einbau von geräuschoptimierten Getrieben. Durch die Verwendung von Kegelradgetrieben mit schrägverzahnten und geschliffenen Zahnrädern, die exakt ohne Spiel ineinander greifen, ist eine Lärmreduzierung möglich (WITTE, 1982).

Für die Hydraulikanlage gilt, dass auf gleichmäßigen Ölstrom ohne Druckpulsation, niedrige Pumpendrehzahl und niedrigen Betriebsdruck geachtet werden muss. In den heutigen Schleppern kommen meist ausreichend dimensionierte und oftmals auch gleich mehrere Ölpumpen zum Einsatz. Dadurch arbeiten die meisten Schmalspurschlepper schon mit relativ geringem Betriebsdruck, der sich auf mehrere Ölkreisläufe verteilt. Um ein unnötiges Laufen der Ölpumpe zu vermeiden, sollten die verwendeten Hydraulikpumpen nach dem Loadensing-Verfahren arbeiten. Dieses stellt nur den Betriebsdruck zur Verfügung, der auch tatsächlich benötigt wird. Dadurch wird außer einem unerwünschten Erhitzen des Öls auch eine Reduzierung des Lärms erreicht.

Aus älteren Untersuchungen (BACHER, 1978) geht hervor, dass der Beurteilungspegel durch konstruktive Veränderungen um 2 bis 4 dB(A) abgesenkt werden kann. Dieser Wert ist für heutige Möglichkeiten sicher zu gering angesetzt. Festzuhalten gilt aber, dass solche tiefgreifenden konstruktiven Änderungen erhebliche Kosten und oftmals eine komplette Neukonstruktion des Motors mit seinen Anbauteilen verursachen würden und deshalb oft nicht konsequent realisierbar sind (Kosten-Nutzen-Relation).

Sekundäre Maßnahmen

Entstandener Schall soll an seiner weiteren Ausbreitung gehindert werden durch:

- Schalldämpfer für akustisches „Verschließen“ von Öffnungen, z.B. für den Motorauspuff. Dabei sind zwei Arten von Schalldämpfung zu unterscheiden:

- Körperschalldämpfung: Verhindert die Umwandlung von Körperschall in Luftschall durch Energieumwandlung beim Durchdringen homogener Beläge, die mit dem Körper verklebt oder verbunden sind. Dieser Ansatz ist bei Antriebsaggregaten meist aus thermischen Gründen wenig geeignet.
- Luftschalldämpfung: Mindert die Schallenergie durch (äußere) Reibung an den Grenzflächen von porösen Absorbieren mit durchgehender großer Reibungsoberfläche. Diese Art der Schalldämpfung wird üblicher Weise bei der Auspuff-Schalldämpfung eingesetzt.
- Kapselung, d.h. Umkleiden z.B. eines Dieselmotors oder einer Hydraulikanlage mit Schalldämmmaterial. Je nach Ausführung der Kapselung können Pegelminderungen von 3 bis 50 dB erreicht werden. Da die zu kapselnden Aggregate meist Hitze entwickeln, müssen die erforderlichen Be- und Entlüftungsöffnungen mit geeigneten Schalldämpfern versehen werden oder mit einem anderen Medium, z.B. Wasser, gekühlt werden. Des Weiteren kann die Kapselung die Bediener- bzw. Wartungsfreundlichkeit beeinträchtigen. Beim Schmalspurschlepper früher bereits entwickelte Motor-Vollkapselungen haben sich wegen dieser Nachteile nicht durchsetzen können, allenfalls die teilweise Kapselung wird in Verbindung mit Schalldämmelementen an Teilen der Motorhaube praktiziert. Dies wirkt sich jedoch eher auf die Schallemission in die Umgebung als in Richtung des Fahrers positiv aus.
- Elastische Lagerung von Maschinen, Motoren und Kabinen mit Hilfe von Gummimetall oder anderem geeignetem Material zur Minderung der Schallübertragung. Gerade in Verbindung mit Kabinen erscheint dies – bei konsequenter Umsetzung – ein besonders wirksamer, nicht mit Nachteilen behafteter Ansatz zur Reduzierung der Fahrerbelastung zu sein, wie die Messergebnisse der vorliegenden Studie zeigen.
- Entkoppelung von schall- und schwingungsübertragenden Leitungen und Öffnungen. Beim Standard-Schlepper sind hierbei enge Grenzen gesetzt, der Knickschlepper hat bauartbedingt Vorteile.
- Die konsequenteste sekundäre Lärmschutzmaßnahme für den Fahrer ist die Ausstattung des Schleppers mit einer Kabine. Versuche von BACHER U. SÖHNE (1978) haben gezeigt, dass sich durch einfache Wetterschutzverdecke oder nur Teilkabinen keine oder nur geringe Lärminderungen erzielen ließen. Oftmals hat sich der Schallpegel bei diesen Varianten gegenüber der offenen Ausführung sogar noch erhöht. Die besten Lärminderungsmaßnahmen lassen sich daher nur durch eine geschlossene Kabine erreichen.
Die Kabine kann durch elastische Abstütungen am Rahmen körperschallisoliert werden. Die meisten heutigen Kabinen werden mithilfe von verschiedenen Gummielementen oder Hydrobuchsen vom Fahrgestell entkoppelt. Eine Übertragung des Körperschalls in die Kabine wird dadurch verhindert.

Um diese Schallübertragung komplett zu unterbinden, müssen aber auch alle Leitungen und Gestänge, die von außen in die Kabine führen und Schall übertragen können, körperschallisoliert werden. Dies kann beispielsweise erreicht werden, wenn alle Fahr- oder Arbeitsbefehle elektrohydraulisch oder elektromechanisch übermittelt werden. Damit wäre die Kabine eine geschlossene Einheit, die nur über wenige Elektrokabel mit dem Fahrgestell verbunden wäre. Die Kabine kann dann optimal körperschallisoliert werden. Der getestete Holder mit dem Dual Drive-Antrieb und der Joysticksteuerung für die komplette Arbeitshydraulik kommt diesem Ziel sehr nahe.

- Arbeitsplätze können durch schalldämmende Verkleidungen der Raumbegrenzungsflächen lärmgeschützt werden, z.B. schallgedämpfte Fahrerkabinen (DUPUIS, 1981). Beim Weinbergstraktor besteht allerdings wegen der räumlichen Enge in der Kabine nur wenig Handlungsspielraum. Es stehen dafür verschiedene absorbierende Dämmmatten zur Verfügung. Auch die Kabinenscheiben sollten ausreichend dick und in Gummidichtungen eingebettet sein. Zu beachten ist dabei, dass aufgrund der Schallisolierung keine Abstriche im Bereich Ergonomie und Bedienbarkeit gemacht werden dürfen oder die Sichtverhältnisse darunter leiden. Eine insgesamt sehr gelungene Lösung stellen die Kabinen der Firma Fendt und New Holland dar. Sie wiesen im Test ausgezeichnete Lärminderungswerte auf. Von Vorteil ist sicherlich in diesen Fällen die Konstruktion von Fahrzeug und Kabine „aus einer Hand“, während andere Hersteller zugekaufte Kabinen an ihre eigenen Fahrzeuge adaptieren müssen, was offensichtlich häufig – zumindest in puncto Lärminderung – weniger effizient ist.

Wenn alle ergriffenen Maßnahmen zur Verminderung des Lärms und seiner Ausbreitung nicht ausreichend sind, so bleibt letztlich der Einsatz sogenannter persönlicher Schallschutzmittel. Dies

sind Vorrichtungen zum Schutze des menschlichen Gehörs vor einer Schädigung infolge von Schalleinwirkungen. In der Regel kommt auf Schlepperfahrerplätzen nur passiver Gehörschutz mittels Watte, Gehörschutzstöpsel oder -kapseln in Frage. Generell kann man bei höheren Frequenzen damit am Trommelfell eine Pegelminderung zwischen 25 und 45 dB erreichen.

Damit das Tragen von Gehörschutz nicht abgelehnt wird, weil es als lästig empfunden wird und sich der Betroffene von der Außenwelt isoliert fühlt, ist der Tragekomfort ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl der Gehörschützer. Denn wenn beispielsweise mit einem Gehörschutz bei ständigem Tragen eine Dämmung von 30 dB erzielbar ist, wird die Schutzwirkung bereits mehr als halbiert, falls der Gehörschutz nur eine halbe Stunde während einer achtstündigen Arbeitszeit unter gleichen Lärmbedingungen nicht getragen wird (ZÜLCH U. VON KIPARSKI, 1999).

4.4 Entwicklung der Lärmbelastung am Schmalspurschlepperfahrerplatz

Zur Einschätzung der Veränderung der Lärmproblematik auf dem Weinbergsschlepper dient eine Gegenüberstellung der Ergebnisse aus der Studie von 1989 von RÜHLING, STRUCK U. UHL. Damals wurden neun Schlepper – allesamt mit offenen Fahrerplätzen – getestet; nur noch sechs dieser Fabrikate waren jetzt in der vorliegenden Untersuchung mit aktuellen Modellen vertreten. Die Einsatzbedingungen – bei allerdings gleicher Messtechnik – waren nur eingeschränkt vergleichbar, da z.B. unter Last gemessen wurde.

Der durchschnittliche Lärmpegel lag bei 95,4 dB(A) (minimal 89 dB(A), maximal 101 dB(A)). Diese als äußerst kritisch einzustufenden Werte lassen den inzwischen erreichten Stand der Lärmbelastung am Fahrerplatz erst recht positiv erscheinen, zumal es im Bericht hieß: „Nur mit einer optimal auf den Schlepper abgestimmten Kabine mit Isolationswirkung gegen Körper- und Luftschallausbreitung sind Absenkungen um 5 bis 6 dB(A) zu verwirklichen“ (RÜHLING, STRUCK U. UHL, 1989). Das wurde in den zurückliegenden 15 Jahren eher übertroffen.

Dennoch bleibt kritisch anzumerken, dass auch heute vereinzelt neue Schlepper angeboten werden, bei denen offenbar nicht konsequent genug technische Konstruktionsmöglichkeiten zur Schallemissionsminderung genutzt werden.

5 Untersuchungen zur Schwingungsbelastung auf dem Fahrersitz

5.1 Messergebnisse

Anhand der gemessenen L_{eq} -Werte für die Vertikal-Schwingungen (Z-Achse) wurden aus dem Zeitbewertungs-Diagramm (s. Abb. 8) die zulässigen Einwirkzeiten in Minuten für die verschiedenen Belastungsgrenzen abgelesen. Werden diese Expositionszeiten überschritten, kann dies zu den entsprechenden Gesundheitsbeeinträchtigungen führen. Werden die Einwirkzeiten täglich und über einen mehrjährigen Zeitraum überschritten, können chronische Erkrankungen auftreten.

Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass individuelle Einflussfaktoren des einzelnen Menschen wie Alter, Konstitution, Leistungsfähigkeit oder Vorschädigungen zu Abweichungen gegenüber den ermittelten zulässigen Einwirkzeiten führen können.

Um die Expositionszeiten zu überschreiten, muss der Schlepper ununterbrochen mit konstanter Geschwindigkeit (25 km/h oder 35 km/h) über die ermittelten Grenzwerte hinaus gefahren werden, das heißt, der Fahrer muss den Schwingungsbelastungen permanent ohne Unterbrechungen ausgesetzt sein. Nachfolgend wird sich zeigen, dass bei verschiedenen Schleppern Einwirkzeiten ermittelt wurden, bei denen ein Überschreiten unter praxisnahen Einsatzbedingungen höchst unwahrscheinlich ist.

5.1.1 Schwingungsbelastung auf fester Fahrbahn

Die Schwingungsmessungen auf der festen, stets gleichen Fahrbahn führten zu den nachfolgenden Ergebnissen. Die Säulen geben dabei jeweils die Zeitspannen an, die bis zum Eintritt der jeweils zugeordneten Empfindung oder Tatsache verstreichen. So muss z.B. in Abbildung 15 bei der Höhe einer waagrecht gestreiften Säule von 180 Minuten die Person auf dem Schleppersitz bis zum Eintritt der Leistungsbeeinträchtigung einer ununterbrochenen Schwingungseinwirkung (1 – 80 Hz) von drei Stunden ausgesetzt sein – bei einer konstanten Fahrgeschwindigkeit von 25 km/h.

Die ausgewiesenen Zeiten sind an den üblichen Einsatzzeiten eines Schleppers zu messen, die wiederum in 4-stündige Halbtage eingeteilt werden können.

Abbildung 15 zeigt, dass die Unbehagens-Grenze, die gleichzeitig geminderten Komfort signalisiert, bei allen Testschleppern nahezu sofort oder in sehr kurzer Zeit erreicht wird. Die möglichen Zeiten bis zum Auftreten von Leistungseinbußen liegen im Mittel bei etwas über 100 Minuten, differieren jedoch sehr stark zwischen 40 und 180 Minuten. Besonders die beiden Knickschleppermodelle fallen hierbei merklich ab, was hauptsächlich in deren Fahrwerksgeometrie begründet ist, die eher zum „Aufschaukeln“ führt, während die großen Hinterräder und der längere Radstand der Standardschlepper eine messbar bessere Laufruhe mit sich bringen.

Die als jeweils dritte Säule angegebene Belastungsgrenze, die zu Gesundheitsgefährdungen führen kann, wird bei 25 km/h Fahrgeschwindigkeit – mit einer Ausnahme – innerhalb eines Halbtages nicht überschritten, was einer zusammen hängenden Fahrtstrecke von 100 Kilometern entsprechen würde.

Mit den besten Ergebnissen herausragend zeigten sich die Schlepper von Krieger, Renault und Case.

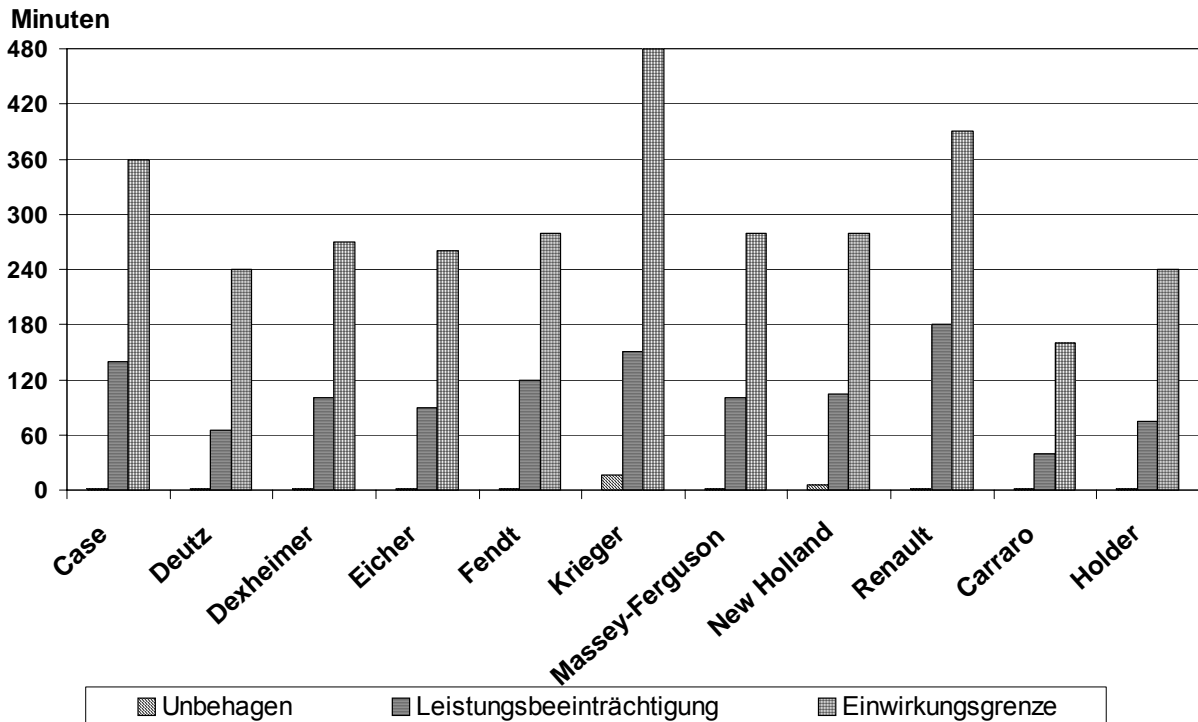


Abb. 15: Belastung des Fahrers durch hochfrequente Schwingungen (1 – 80 Hz) auf fester Fahrbahn bei 25 km/h

Die in Abbildung 16 dargestellten Zeitsäulen verkürzen sich aufgrund der höheren Fahrgeschwindigkeit von 35 km/h fast durchweg. Die Grenze der Leistungsbeeinträchtigung wird um durchschnittlich 25 Minuten früher erreicht, die Grenze der Gesundheitsgefährdung um ca. 45 Minuten früher. Eine Ausnahme stellte der Schlepper von Dexheimer dar, bei dem sich die Leistungsbeeinträchtigungsgrenze um 30 Minuten hinauszögert: Offenbar stabilisierte sich das Fahrzeug, wie gelegentlich auch bei anderen Fahrzeugen beobachtet, bei der höheren Geschwindigkeit hinsichtlich der Erregung der hochfrequenten Schwingungen.

Insgesamt aber gewährleisten nahezu alle Schlepper mindestens eine Stunde Fahrtzeit ohne Leistungsbeeinträchtigung, was einer Strecke von 35 Kilometern entspricht und daher in den meisten Praxissituationen als ausreichend angesehen werden kann. Denn in der Tat wird wohl in den seltensten Fällen im öffentlichen Straßenverkehr eine derartige Distanz ohne jegliche Unterbrechung oder Verzögerung zurückgelegt werden können.

Die bei 25 km/h festgestellten großen Unterschiede wurden bei der höheren Geschwindigkeit etwas nivelliert. Dennoch blieben die beiden Knickschlepper Schlusslichter, zusätzlich fällt der Eicher-Schlepper mit seinem relativ kurzen Radstand negativ auf. Krieger, Dexheimer und Renault bildeten hier die Spitzengruppe.

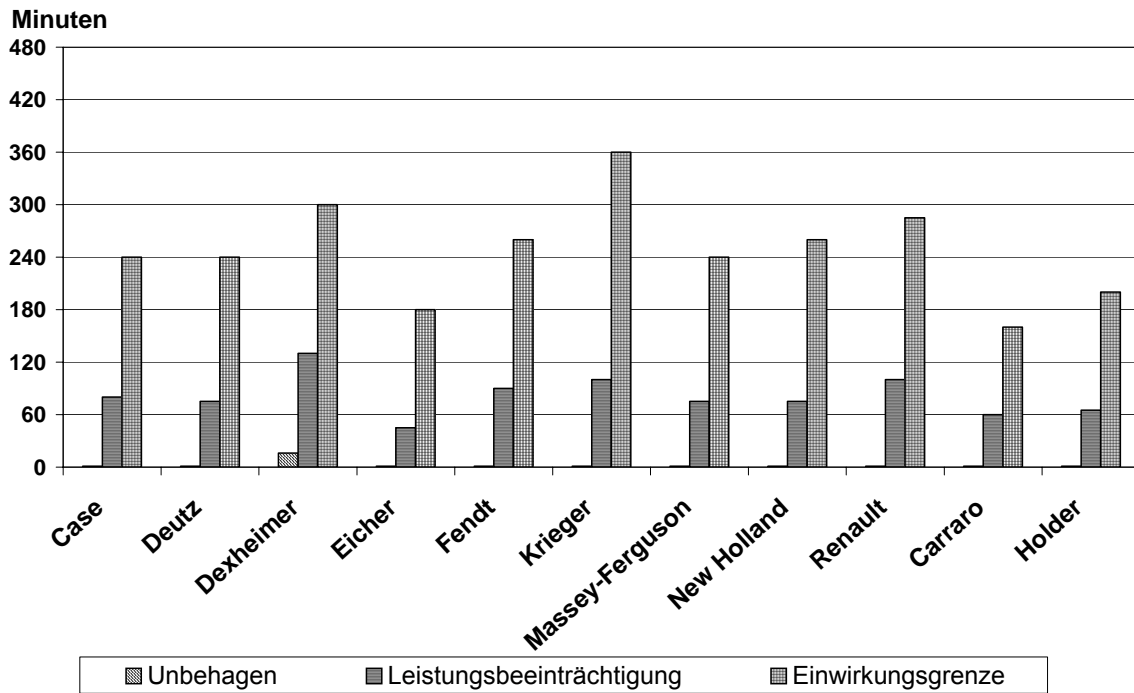


Abb. 16: Belastung des Fahrers durch hochfrequente Schwingungen (1 – 80 Hz) auf fester Fahrbahn bei 35 km/h

Bemerkenswertes zeigt sich beim Vergleich der Sitz-Dämpfungssysteme: Zwar weisen die Messwerte der drei Testschlepper mit mechanisch gefederten Sitzen (Deutz, Renault, Carraro) im Durchschnitt tendenziell kürzere Zeitspannen aus als die der Schlepper mit luftgefederten Sitzen; dies rührt allerdings hauptsächlich daher, dass die ungünstigen Werte des Carraro (als einer von nur drei Schleppern mit mechanischen Sitzen) sich relativ stärker auswirken als beim Holder (als einer von acht Schleppern mit Luftsitzen). Lässt man nämlich die zwei Knickschlepper außer Betracht, liegen die Mittelwerte beider Sitzvarianten auf exakt gleichem Niveau. Dies lässt den Schluss zu, dass bei optimaler Einstellung auf das Fahrergewicht ein mechanischer Sitz durchaus sehr gut in der Lage ist, vergleichbare Schwingungsdämpfung wie ein Luftsitz zu erreichen – oder diese im Einzelfall sogar zu übertreffen, wie die Messwerte des Renault-Schleppers zeigen.

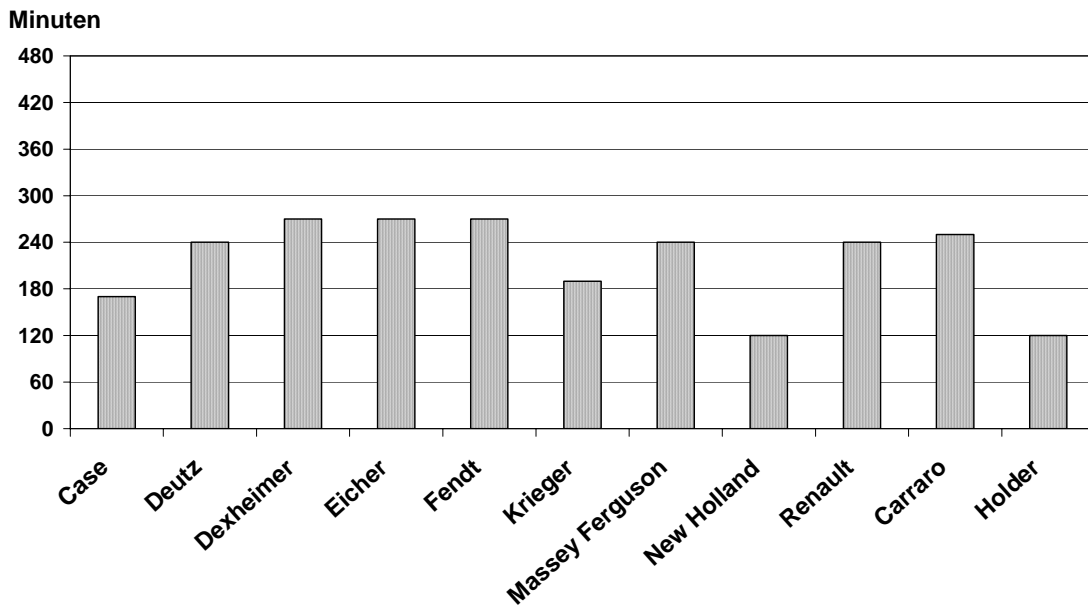


Abb. 17: Belastung des Fahrers durch niederfrequente Schwingungen (0,1 – 0,63 Hz) auf fester Fahrbahn bei 35 km/h – Erreichen der Unbehagensgrenze

Die Belastungsgrenze aus dem niederfrequenten Schwingungsanteil in Bezug auf das Empfinden von Unbehagen bzw. gemindertem Komfort (Abb. 17) wird überhaupt nur bei der höheren Geschwindigkeit von 35 km/h innerhalb üblicher Einsatzzeiten erreicht, aber selbst hierfür müssen mindestens zwei Stunden ununterbrochener Fahrt vergehen; das bedeutet, dass eine Mindestfahrtdistanz von 70 Kilometern zurückzulegen wäre, bevor Unwohlsein wegen niederfrequenter Schwingungen zu befürchten sei – was wohl in der Praxis eines Weinbaubetrieb nie der Fall ist. Die Grenze der Leistungsbeeinträchtigung wurde in keinem Fall auch nur annähernd erreicht und wird deshalb hier nicht dargestellt.

Dieses Ergebnis ist auf eine nahezu vollständige Schwingungsminderung bei niederfrequenten Erregungen bei allen getesteten Schleppern zurückzuführen, weshalb auch bei den weiterführenden Versuchen von der Messung dieser Belastungsgrenzen abgesehen wurde.

Begleitend wurden auf derselben Teststrecke Kurz-Tests zu folgenden Fragestellungen durchgeführt:

- Der Schmalspurschlepper TN75 von New Holland ist optional mit der sogenannten „Super-Steer“-Vorderachse erhältlich, die lt. Hersteller eine verbesserte Wendigkeit durch die „mittlenkende“ Vorderachse bewirken soll. Andererseits verlängert sich der Radstand mit der Super-Steer-Achse gegenüber der Standard-Version, was ein ruhigeres Fahrverhalten bewirken müsste. Bei Messungen mit 25 und 35 km/h mit den beiden verschiedenen Ausführungen (mit gleicher Bereifung und Sitzausstattung) ergaben sich jedoch keine Unterschiede hinsichtlich des Schwingungseintrags auf dem Fahrersitz.
- Am Beispiel des Schmalspurschleppers der 200er-Serie von Fendt wurde nach Unterschieden zwischen der 3-Zylinder-Version (207 V) und der 4-Zylinder-Version (208 V) gesucht; Bereifung und Sitz waren bei den Testschleppern gleich. Bei der Fahrgeschwindigkeit von 25 km/h ergaben sich um 40 – 75 % längere zulässige Belastungszeiten für den 4-Zylinder-Schlepper als bei der 3-Zylinder-Version hinsichtlich der Leistungsbeeinträchtigungsgrenze. Diese Differenz fiel bei 35 km/h weniger deutlich aus, war aber immer noch in einer Größenordnung von 15 – 30 % vorhanden. Diese messbar größere Laufruhe des 4-Zylinder-Schlep-

pers kann auf das höhere Fahrzeuggewicht (200 kg) in Verbindung mit dem etwas längeren Radstand (13 cm) zurückgeführt werden.

5.1.2 Schwingungsbelastung bei verschiedenen Einsatzbedingungen

Um die Auswirkung der unterschiedlichen Bereifungsvarianten und anderer Einflussgrößen einschätzen zu können, wurden weitere Schwingungsmessungen stellvertretend mit einem Schlepper der Firma Fendt durchgeführt.

Die Ergebnisse bei Messfahrten auf der festen Fahrbahn mit verschiedenen breiten Reifen – sowohl an der Hinter- wie auch an der Vorderachse – zeigt Abbildung 18. Interessanter Weise ergeben sich bei der Kombination von schmaler Vorderachsbereifung (7,5 Zoll) mit breiter Hinterradbereifung (360er) die besseren Schwingungswerte als bei der ganz schmalen (320er Hinterradreifen) oder ganz breiten (280er Vorderradreifen) Ausstattung. Die Abweichungen fallen insgesamt aber gering aus und sind wohl für die Praxis vernachlässigbar.

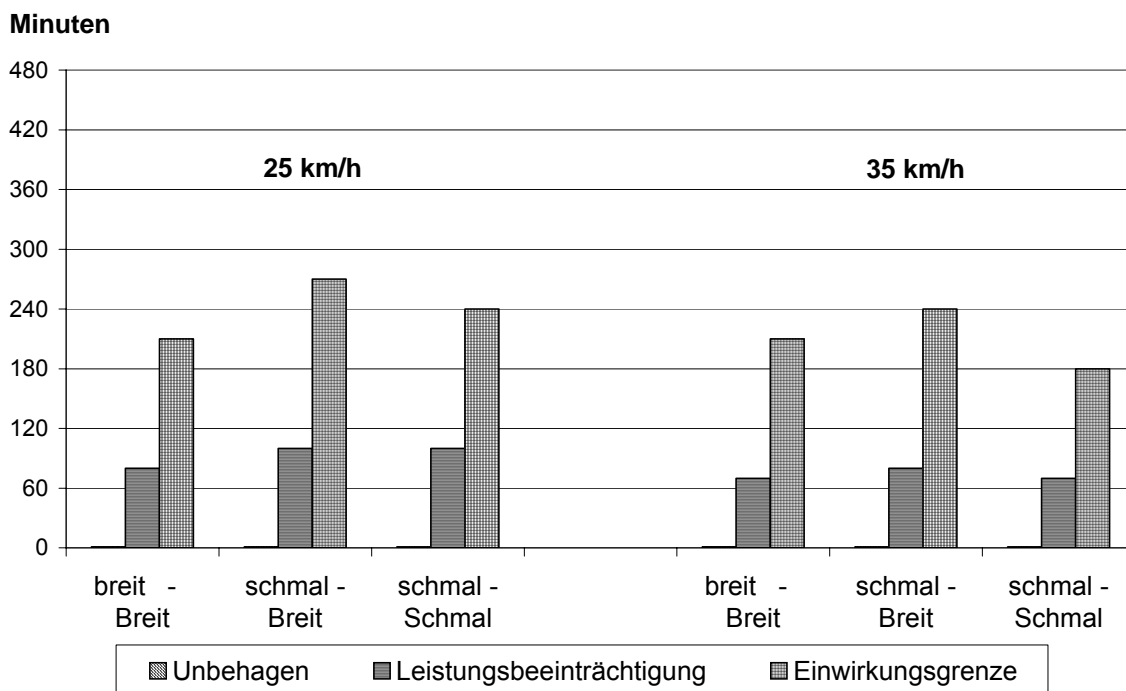


Abb. 18: Belastung des Fahrers durch hochfrequente Schwingungen (1 – 80 Hz) auf fester Fahrbahn bei 25 und 35 km/h Fahrgeschwindigkeit – Einfluss unterschiedlicher Reifenausstattung (Fendt 207 V)

Größere, auch in dieser Tendenz erwartete Unterschiede ergibt der Einfluss des Reifen-Innendruckes (Abb. 19), der bei den Testfahrten allerdings nur an der Hinterachsbereifung variiert wurde. Ein Wert von 1,0 bar scheint – sofern die Bereifung dies von der Tragfähigkeit in Verbindung mit der aktuellen Belastung erlaubt – optimal zu sein. Schon bei gering erscheinender Luftdruckerhöhung um 0,2 bar verkürzt sich bei 25 km/h die Expositionszeit bis zur Leistungsbeeinträchtigung von über zwei auf etwa 1,5 Stunden. Bei 35 km/h Fahrgeschwindigkeit ist eine durchgängige, fast lineare Abnahme der Zeiten festzustellen; hier scheint durch die „dynamischere“ Schwingungserregung die Federeigenschaft des Reifens noch stärker gefordert zu sein.

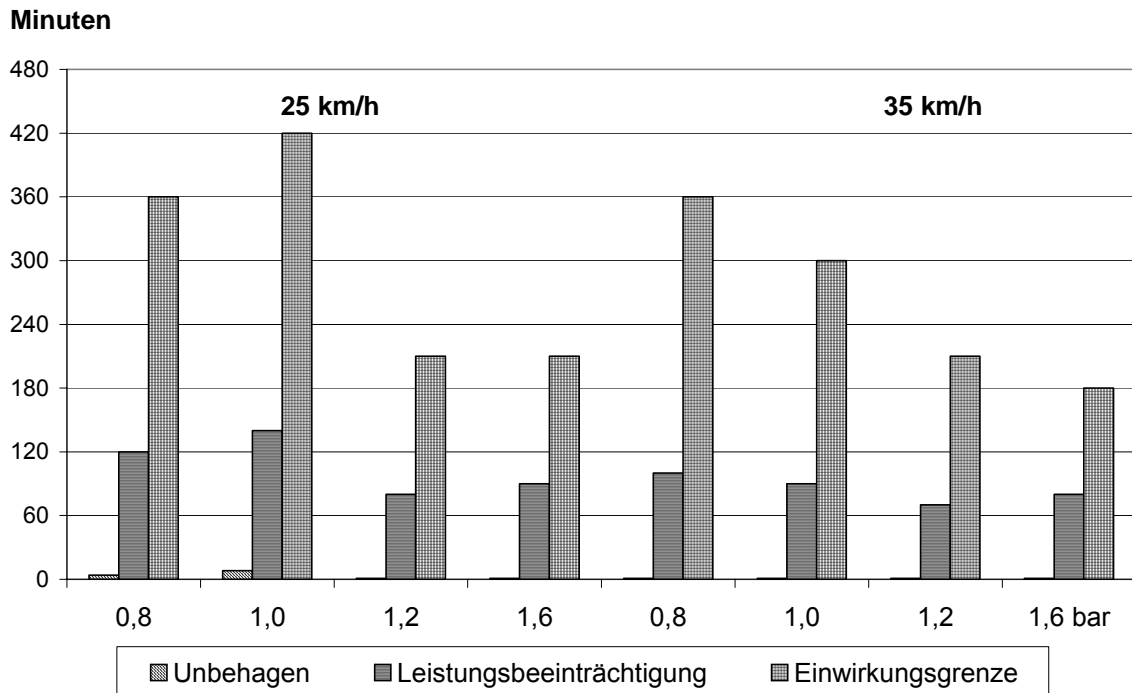


Abb. 19: Belastung des Fahrers durch hochfrequente Schwingungen (1 – 80 Hz) auf fester Fahrbahn bei 25 und 35 km/h Fahrgeschwindigkeit – Einfluss unterschiedlichen Reifeninnendrucks an den Hinterradreifen (Fendt 207 V)

Auf fester Fahrbahn zeigt die Fahrgeschwindigkeit den größten Einfluss auf die Schwingungssituation am Fahrerplatz (Abb. 20). Bis zur Fahrgeschwindigkeit von 15 km/h ist beim getesteten Fendt 207 V die Schwingungsdämpfung so gut, dass selbst die Unbehagensgrenze erst nach mehr als zwei Stunden Fahrt (bei 5 km/h) bis etwa einer halben Stunde (bei 15 km/h) erreicht wird. Leistungsbeeinträchtigung ist bei diesen Geschwindigkeiten innerhalb eines Halbtages nicht zu erwarten. Ab 20 km/h scheint die Schwingungsdämpfung von Fahrzeug und Sitz (Grammer, pneumatische Dämpfung) dann erst wirklich gefordert zu sein, denn hier stellt sich nach nicht einmal zehn Minuten bereits Unbehagen ein und nach ca. zwei Stunden die Gefahr von Leistungseinbußen beim Fahrer. Ab 25 km/h Fahrgeschwindigkeit stabilisierten sich die Messwerte auf noch niedrigerem Niveau: Unbehagen tritt sofort ein, Leistungsbeeinträchtigung nach etwas mehr als einer Stunde, Gesundheitsgefährdung allerdings erst nach über drei Stunden, was wiederum im praxisüblichen Einsatz auszuschließen ist.

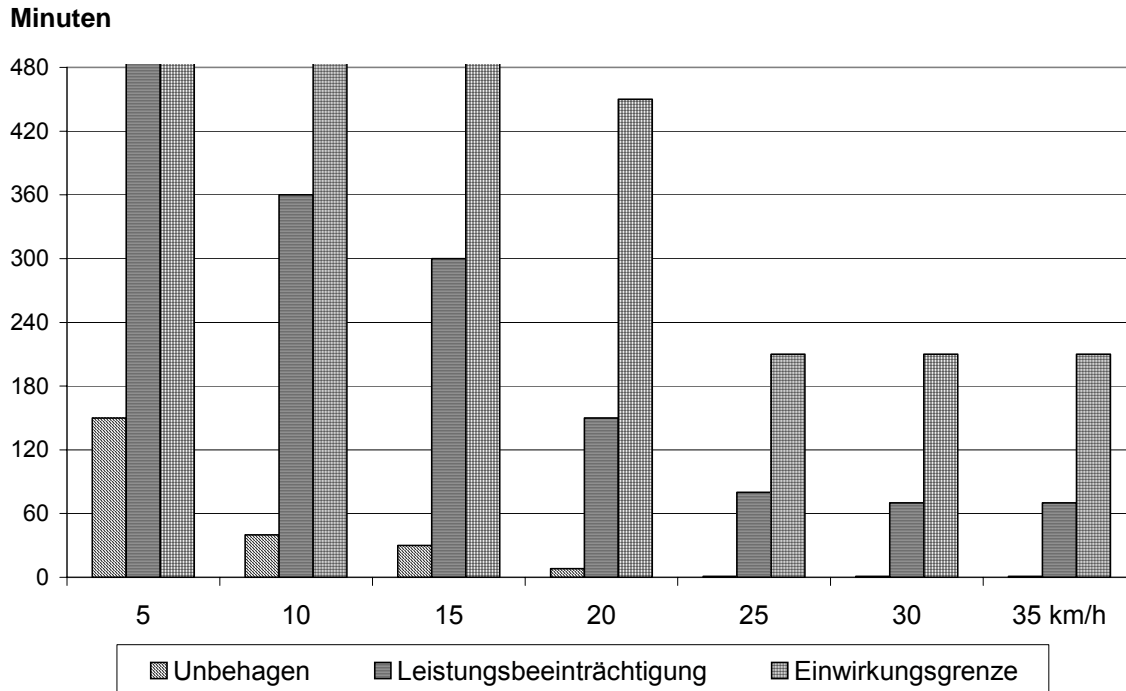


Abb. 20: Belastung des Fahrers durch hochfrequente Schwingungen (1 – 80 Hz) auf fester Fahrbahn bei steigender Fahrgeschwindigkeit (Fendt 207 V)

Tendenzen eines Einflusses verschiedener Fahrbahnoberflächen zeigen die Ergebnisse von weiteren Testfahrten (Abb. 21), die zwar keinen Anspruch auf Reproduzierbarkeit erheben können, aber durchaus als praxisübliche Einsatzsituationen anzusehen sind. Die Aussagekraft wird durch Fahrt mit jeweils zwei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten zusätzlich erhöht.

Im Weinberg tritt bei einer Fahrgeschwindigkeit von 5 km/h bei beiden Fahrbahnvarianten – offener oder begrünter Boden – keine kritische Situation auf. Bei Verdoppelung der Geschwindigkeit kann es jedoch nach 1 – 1,5 Stunden zu herabgesetzter Leistungsfähigkeit kommen, wobei die begrünzte Oberfläche die Schwingungsdämpfung deutlich stärker fordert. Die Fahrten erfolgten mit „leerem“ Schlepper, was zwar keinen praxisgerechten Einsatz darstellt, aber den Vergleich der beiden Fahrbahnen zulässt. Aus früheren Untersuchungen (ROLLETT, 1989; RÜHLING, STRUCK U. UHL, 1989) ist außerdem bekannt, dass sich beim Feldeinsatz der meisten Weinbaumaschinen – mit Ausnahme der Spatenmaschine – die Einsatzzeiten gegenüber dem Schlepper ohne Anbaugerät verlängern.

Bei der Fahrt auf unterschiedlichen Weg- und Straßenoberflächen fällt der Grasweg (Abb. 22, links) als die ungünstigste Situation auf. Zurückzuführen ist dies wohl auf die größeren Unebenheiten der Fahrbahn, die zu stärkeren Schwingungsausschlägen führten. Allerdings kam der Schlepper bei der höheren Geschwindigkeit von 15 km/h etwas besser mit diesen Gegebenheiten zurecht, zumindest was die Gefahr einer Gesundheitsgefährdung betrifft. Auf Schotter (Abb. 22, Mitte) sowie Beton/Asphalt (Abb. 22, rechts) zeigte sich erneut der bereits beschriebene schwingungsverstärkende Einfluss der Fahrgeschwindigkeit mit geringen Vorteilen für die Schotterfahrbahn. Allerdings wird auf beiden Fahrbahnen die Grenze der Leistungsbeeinträchtigung bei den getesteten Geschwindigkeiten nicht einmal innerhalb eines Halbtages erreicht.

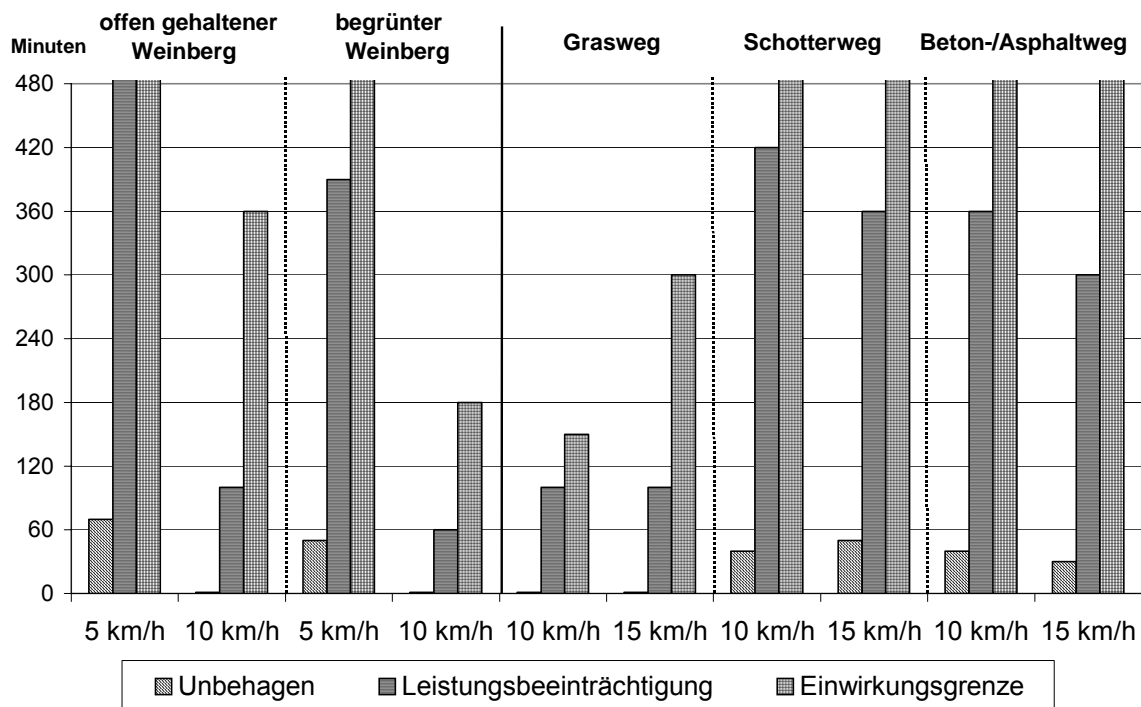


Abb. 21: Belastung des Fahrers durch hochfrequente Schwingungen (1 – 80 Hz) auf verschiedenen Fahrbahnen und unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten (Fendt 207 V)



Abb. 22: Weg-Fahrbahnen zur Messung der Belastung des Fahrers durch hochfrequente Schwingungen (1 – 80 Hz) mit dem Fendt 207 V: Grasweg (links), Schotterweg (Mitte), Beton-/Asphaltweg (rechts)

5.2 Diskussion der Messergebnisse

Bei der heute im deutschen Haupterwerbs-Weinbau üblichen Betriebsstruktur ist durch wachsende Betriebsflächen mit z.T. entsprechend großer Parzellenzahl und daraus resultierenden langen innerbetrieblichen Verkehrswegen eine erhebliche Anzahl von Transportfahrten auf öffentlichen Straßen und Wirtschaftswegen zu absolvieren. Hier ist z.B. sowohl an Pflanzenschutzmaßnahmen mit Anhängesprühgeräten als auch an den Traubentransport mit Maischewagen zu denken. In der Regel handelt es sich um befestigte Fahrbahnen, auf denen das Fahren mit höherer Geschwindigkeit – mittlerweile mit 35 bis 40 km/h - möglich ist (allerdings mit zulassungsfreien land- oder forstwirtschaftlichen Fahrzeugen nicht erlaubt!); somit ist speziell die Schwingungsproblematik auf dem Fahrersitz auf fester Fahrbahn kritisch zu beleuchten. Die vorliegenden Messergebnisse zeigen zwar, dass hinsichtlich hochfrequenter Schwingungen bei 25 und 35 km/h Fahrgeschwindigkeit nach kürzester Zeit die Unbehagensgrenze überschritten wird. Die Grenze der Leistungsbeeinträchtigung jedoch wird innerhalb praxisüblicher Fahrtzeiten nicht erreicht; erst recht besteht keine Gefahr einer gesundheitlichen Schädigung.

Allerdings bleibt festzustellen, dass einige Testschlepper (z.B. Krieger, Renault) messbar besser mit der Situation auf fester Fahrbahn zu Recht kommen. Während dessen zeigt sich speziell bei den Knickschleppern die mangelhafte Eignung als Transport- bzw. Zugfahrzeug auf der Straße durch die relativ kürzesten gemessenen Einsatzzeiten bis zur Grenze der Leistungsbeeinträchtigung; andererseits sind diese Schlepper schon von der Grundkonstruktion her eindeutig als Arbeitsmaschinen für hängige und enge Weinbergslagen konzipiert.

Niederfrequente Schwingungen werden generell bei den getesteten Fahrzeugen soweit abgedämpft, dass bei praxisüblichen Einsatzbedingungen keinerlei gesundheitsrelevante Auswirkungen zu befürchten sind. Dies gilt für die beiden untersuchten Fahrgeschwindigkeiten von 25 und 35 km/h auf der Straße ebenso wie für Fahrten auf unbefestigten Fahrbahnen.

Längerer Radstand führt in der Regel zu ruhigerem Schwingungsverhalten, ist aber im Weinbau wegen der häufig beengten Platzverhältnisse als begrenzender Faktor für die Wendigkeit des Schleppers nicht unbegrenzt auszudehnen.

Die Vergleiche der Schwingungssituation – beispielhaft an einem Schlepperfabrikat und -typ gemessen – in Abhängigkeit verschiedener Rahmenbedingungen des Einsatzes bestätigen die Ergebnisse vorliegender älterer Studien. Während die Hinterradreifendimensionen nur geringen Einfluss haben, bewirkt steigender Reifeninnendruck an der Hinterachse eine sehr deutliche Verkürzung der akzeptablen Einsatzzeiten. ROLLETTER (1989) stellte eine Halbierung der unbedenklichen Expositionsdauer bei Zunahme des Luftdrucks von 0,8 auf 1,2 bar fest, dies allerdings bei Reifen der Größe 11.2 R 24. Bei der hier vorliegenden Untersuchung bewirkte die größere Reifendimension (360/70 R 24) einen etwas geringeren, aber immer noch nennenswert positiven Einfluss der Luftdruckabsenkung. In diesem Zusammenhang muss auf ausreichende Tragfähigkeit und Fahrstabilität der Reifen gemäß den Angaben in den Reifenhandbüchern und Luftdrucktabellen hingewiesen werden. Eine gewünschte Komfortsteigerung ist nur im Rahmen der zulässigen Reifeninnendrucke möglich.

Massiv wirkt sich die Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit auf fester Fahrbahn auf die Schwingungserregung aus. Da sich aber dadurch bei der Straßenfahrt die Fahrtzeit bei einer bestimmten zurückzulegenden Distanz – umgekehrt proportional – verkürzt, werden die akzeptablen Expositionszeiten im Normalfall nicht überschritten. Außerdem gelten die gemessenen Grenzwerte nur für ununterbrochene Fahrt, was sich bei ordnungsgemäßer Teilnahme im Straßenverkehr wohl kaum ergeben wird. Auch bei der Fahrt im Weinberg, wo eher von einer Dauerbelastung auszugehen ist, stellt jeder Wendevorgang am Zeilenende eine gewisse Erholungsphase dar, zumal die Belastungsintensität bei der niedrigeren Geschwindigkeit auch geringer einzustufen ist.

Beim Fahren auf verschiedenen Fahrbahnoberflächen fielen besonders die Begrünung und der Grasweg mit kritischen Messwerten auf. Hier scheint sich die höhere Festigkeit der Fahrbahn – im Vergleich zum offenen Boden – in Verbindung mit häufigeren Unebenheiten (Grashorste, Lücken im Bestand) als schwingungsverstärkend ausgewirkt zu haben. Durch entsprechende Bodenpflegemaßnahmen ist deshalb eine möglichst ebene und geschlossene Gras- oder Begrünungsnarbe zu schaffen. Andernfalls ergibt sich die Konsequenz, die Fahrgeschwindigkeit zu verringern mit den entsprechenden Auswirkungen auf die arbeitswirtschaftlichen Vorgaben.

5.3 Schwingungsschutzmaßnahmen

Die Maßnahmen des Schwingungsschutzes betreffen neben konstruktiven Maßnahmen gegen die Schwingungsentstehung vor allem solche zur Minderung der Übertragung auf den Menschen. Nur ein kleiner Teil von Schwingungen wird durch fahrzeugeigene Komponenten (z.B. Motor) hervorgerufen, weshalb ein Beitrag zum Schwingungsschutz hierbei auch entsprechend gering ausfällt

und nicht weiter betrachtet werden soll. Fast alle Schwingungen des Gesamt-Fahrzeugs werden dagegen durch Unebenheiten der Fahrbahn (Art des Fahrbahnprofils) und die Fahrgeschwindigkeit verursacht. Als Schutzmaßnahmen hiergegen sind z.B. Reifen- und Fahrzeugfederungen und Sitz-Federungs-Dämpfungssysteme zu nennen.

Schwingungsminderung am Fahrzeug

Vorwiegend sollen hierbei durch den Fahrbetrieb entstehende Schwingungen bereits „im Fahrzeug“ gedämpft werden. Dazu muss das Fahrzeug von den Einflussfaktoren möglichst entkoppelt werden. Das kann vorwiegend durch Reifenfederung oder Federung der Achsen erreicht werden.

Durch die Verwendung bestimmter Reifentypen mit unterschiedlichem Karkassenaufbau, Gummimischungen, Größen und Profil kann eine Eigenfederung der Reifen erreicht werden. Bezogen auf den Schmalspurschlepperbetrieb sind den Reifenanforderungen aber bestimmte Grenzen gesetzt. Der Reifen soll nur minimalen Schlupf zulassen und er muss so dimensioniert werden, dass er in der Rebgrasse problemlos eingesetzt werden kann. Die Möglichkeit, über eine bestimmte Reifenwahl die auftretenden Schwingungen zu verringern, ist folglich nur sehr begrenzt.

Eine Federung der Achsen wurde im Schmalspurschlepper in der Vergangenheit aus Kosten- und Platzgründen nicht eingebaut. Mittlerweile führen einzelne Hersteller ein vorderachsgefedertes Schmalspurschleppermodell im Programm. Beim Schlepper der Fa. Fendt wird ab Straßenfahrgeschwindigkeit (ca. 15 km/h) die Vorderachsfederung automatisch aktiviert, um die wegen höherer Geschwindigkeiten auftretenden Schwingungen zu dämpfen. Eine Vergleichsmessung mit oder ohne Federung – bei Straßengeschwindigkeit mit demselben Fahrzeug auf gleicher Teststrecke – ist deshalb nicht möglich. Im Großschleppersektor durchgeführte Vergleichsmessungen der DLG (UHLIG u. KAISER, 2003) mit einem an der Vorderachse gefederten und einem ungefederten Schleppermodell auf einer Sitzprüfbahn bei Geschwindigkeiten zwischen 4 km/h und 20 km/h ergaben, dass die Beschleunigungen an der Sitzbefestigung beim ungefederten Schlepper im gesamten Geschwindigkeitsbereich wesentlich höher waren als beim Schlepper mit Vorderachsfederung.

Zur Schwingungsreduzierung können auch aktiv oder passiv gefederte Kabinen eingesetzt werden. Aktive Federung bedeutet, dass eine ständige Lageregelung der Kabine mit hydraulischer Hilfskraft stattfindet. Dazu sitzen an den Verbindungspunkten der Kabine mit dem Rahmen hydraulische Dämpfer, die elektronisch gesteuert den Übertragungsschwingungen vom Rahmen ständig entgegenwirken. Damit werden zwar sehr gute Schwingungsreduzierungen für den Fahrer erreicht, aber der konstruktive und damit finanzielle Aufwand für eine vollständige aktive Kabinenfederung ist sehr groß. Deshalb kommt sie nur bei Spezialmaschinen zum Einsatz. Passiv gefederte Kabinen dagegen werden auch im Bereich der Schmalspurschlepper verwendet. Hier erfolgt die Federung der Kabine mittels Gummielementen oder Hydrobuchsen. Somit wird die Kabine von dem Fahrgestell „entkoppelt“ und die Übertragung der Schwingungen reduziert. Dieser Entkopplung sind allerdings Grenzen gesetzt, da eine zu weiche Kabinenfederung zu großen Eigenbewegungen der Fahrerkabine führen würde. Alle Bedienelemente und Leitungen, die in die Kabine führen, müssten sich diesem Verhalten anpassen und ebenso flexibel reagieren. Deshalb sind die Federelemente der passiv gefederten Kabinen eher „starr“ ausgelegt und die Schwingungsreduzierung ist weniger wirkungsvoll als bei aktiv gefederten Kabinen.

Schwingungsminderung durch Sitzsysteme

Als entscheidende Möglichkeit zur Schwingungsminderung bleibt beim Schmalspurschlepper aus Kostengründen oftmals nur der Einsatz von federnden Sitzsystemen. Die wichtigsten konstruktiven Merkmale dieser Sitzsysteme liegen im Bereich der Kinematik, der Federung und der Dämp-

fung. Durch die Sitz-Kinematik wird versucht, die eingeleiteten Schwingungen so umzuwandeln, dass die Sitzschale immer in der gleichen Horizontallage bleibt und nur eine vertikale Bewegung ausführt. Diese vertikale Bewegungskomponente kann dann mit Hilfe von Federn und Dämpfern reduziert werden. Dabei muss die Federung so ausgelegt sein, dass sie für unterschiedliche Fahrgewichte zwischen 60 und 120 kg einstellbar ist. Die Aufgabe des Schwingungsdämpfers ist es, der Feder die Einfederungsenergie zu entziehen; sie wandeln diese in Wärmeenergie um, die dann an die Umgebung abgegeben wird. Als Schwingungsdämpfer können Hydraulik- oder Gasdruckdämpfer (= mechanisch gefederte Sitze) oder ein Luftfeder-Balg (= luftgefederte Sitze) zum Einsatz kommen.

Solche passiven Schwingungsdämpfungssysteme, aufgebaut aus Feder- und Dämpfungselement, deren Wirkungsweise auf Energiedissipation (Übergang von Bewegungsenergie in Wärmeenergie) beruht, weisen eine begrenzte Effektivität auf. Dieser Umstand ist vor allem auf Abstimmungskompromisse in der Auslegung der Feder- und Dämpfungskomponenten zurückzuführen, die sich aus den unterschiedlichen Einsatzbedingungen in Zusammenhang mit variierenden Fahrgewichten und wechselnden Intensitäten der Störschwingung ergeben. Da die Federsysteme und die Dämpfungselemente bestimmte Federwege aufweisen müssen und nicht zu hart ausgelegt werden dürfen, kann es bei stoßhaltigen Schwingungen zu einem Durchschlagen der Federung kommen. Um die damit verbundenen hohen Beschleunigungen zu kompensieren und den Fahrer zu schützen, müssen Endpuffer mit geringer Rückstellkraft verwendet werden. Durch den Einsatz eines sogenannten „aktiven Sitzsystems“ könnten diese genannten Nachteile vermieden werden; zurzeit befindet sich diese Technologie jedoch eher im Erprobungsstadium und ist noch nicht auf den Schmalspurschlepper übertragbar.

Als weitere Ausstattung der Sitze wird oft eine Federung und Dämpfung sowohl in als auch quer zur Fahrtrichtung angeboten. Diese ist blockierbar ausgelegt, da eine horizontale Bewegung des Sitzes, je nach Arbeitsbedingung, vielfach als störend empfunden wird.

Eine automatische Einstellung des Sitzes auf das Fahrgewicht und die Fahrergröße, wie sie von einigen Sitzherstellern angeboten wird – nicht für den Schmalspurschlepper –, ist als Sicherheitsgewinn zu bezeichnen, da die optimale Funktion, speziell des passiven Sitzdämpfungssystems, von dieser korrekten Einstellung abhängt.

5.4 Entwicklung der Schwingungsbelastung am Schmalspurschlepperfahrerplatz

Die Einschätzung der Veränderung der Schwingungsbelastungsproblematik auf dem Weinbergschlepper durch Gegenüberstellung der aktuell vorliegenden Ergebnisse mit denen aus der Studie von 1989 (RÜHLING, STRUCK U. UHL, 1989) ist nur mit deutlichen Einschränkungen erlaubt. Denn damals wurden neun Schlepper getestet, von denen nur noch sechs dieser Fabrikate in der jetzigen Untersuchung mit aktuellen Modellen vertreten waren. Die Einsatzbedingungen – bei allerdings gleicher Messtechnik – sind vom Grundsatz her nicht vergleichbar, da auf anderen Fahrbahnen gemessen wurde. Dennoch sei es erlaubt, die jeweiligen Gesamteindrücke nebeneinander zu stellen.

Bei den seinerzeit zu Grunde gelegten Fahrgeschwindigkeiten von 6 km/h (auf begrüntem Weinbergsboden) und 20 km/h (auf betoniertem Wirtschaftsweg) wurde – mit deutlichen Vorteilen für den begrünten Weinberg aufgrund der wesentlich geringeren Fahrgeschwindigkeit – die Unbehagensgrenze (bei hochfrequenten Z-Schwingungen) sofort oder nach kurzer Zeit erreicht. Nach 1,5 bis 2 Stunden Fahrt auf der Betonfahrbahn ergaben die Messwerte eine mögliche Leistungsbeeinträchtigung, was bei den aktuellen Testschleppern (ohne Knicklenker) durchschnittlich bei zwei Stunden zu erwarten ist – und dies bei 25 km/h. Die Gefahr einer Beeinflussung der Gesundheit

durch hoch- und niederfrequente Schwingungen wurde – vergleichbar mit der aktuellen Untersuchung – innerhalb realistischer Einsatzzeiten ausgeschlossen.

Als Fazit ist die folgende Aussage anzusehen: „Der Fahrer ist somit vor Gesundheitsschäden meist geschützt“ (RÜHLING, STRUCK U. UHL, 1989). Empfohlen wurde – und dies gilt auch heute noch uneingeschränkt – das Anpassen der Geschwindigkeit an die Qualität der Fahrbahnoberfläche, möglichst niedriger Reifenluftdruck, ggf. der Ausgleich hoher Heckgewichte durch Frontballastierung und das Optimieren des Sitzes vor Fahrtantritt auf das Fahrergewicht. Besonders Letzteres hilft negative Folgen vermeiden.

6 Untersuchungen von Klimafaktoren in Schmalspurschlepperkabinen

Zunächst seien die für die Auswertung relevanten Grenzwerte dargestellt. Diese sind aus den Aussagen zu Behaglichkeitsbereichen (Kapitel 2.3.2) abgeleitet und auf die im Rahmen dieser Untersuchung gemessenen Parameter reduziert.

- Lufttemperatur im Fußbereich: 18 – 24 °C
- Lufttemperatur im Kopfbereich: 22 – 33 °C
- Temperaturdifferenz zwischen Fuß- und Kopfbereich: ≤ 3 °C
- Relative Luftfeuchte: 30 – 70 %
- Luftgeschwindigkeit: > 0 m/s und $< 0,15$ m/s

6.1 Messergebnisse

Im Folgenden werden die Verläufe der Lufttemperatur in der Kabine exemplarisch bei zwei Testschleppern dargestellt. Die Temperatur als „Leitgröße“ bei der Klimabeurteilung lässt am einfachsten Rückschlüsse auf das Leistungsvermögen der Klimaanlage ziehen.

Testschlepper New Holland TN 75 N

Die Klimamessung am New Holland wurde am 6. August 2004 während einer Pflanzenschutzmaßnahme durchgeführt. Die Messung erfolgte in vier Zeitabschnitten, die naturgemäß nicht zur gleichen Tageszeit stattfinden konnten. Die Zeitspannen der jeweiligen Messungen sind der Abbildung 23 zu entnehmen. Bei jedem Messabschnitt wurde eine andere Gebläsestufe (1, 2, 3) gewählt, während die Temperaturvorwahl auf „maximal kalt“ eingestellt war; lediglich bei der vierten Messreihe war die Klimaanlage inaktiv, während das Gebläse auf Stufe 3 lief.

Die durchschnittliche Außenluft-Temperatur in 2 m Höhe betrug an diesem Tag 24,3 °C. Die mittlere relative Luftfeuchte betrug 59,8 %, Niederschlag war nicht zu verzeichnen. Der Himmel war über den ganzen Tag klar und wolkenlos. Somit kann eine positive Beeinflussung der Messergebnisse durch fehlende Sonneneinstrahlung ausgeschlossen werden.

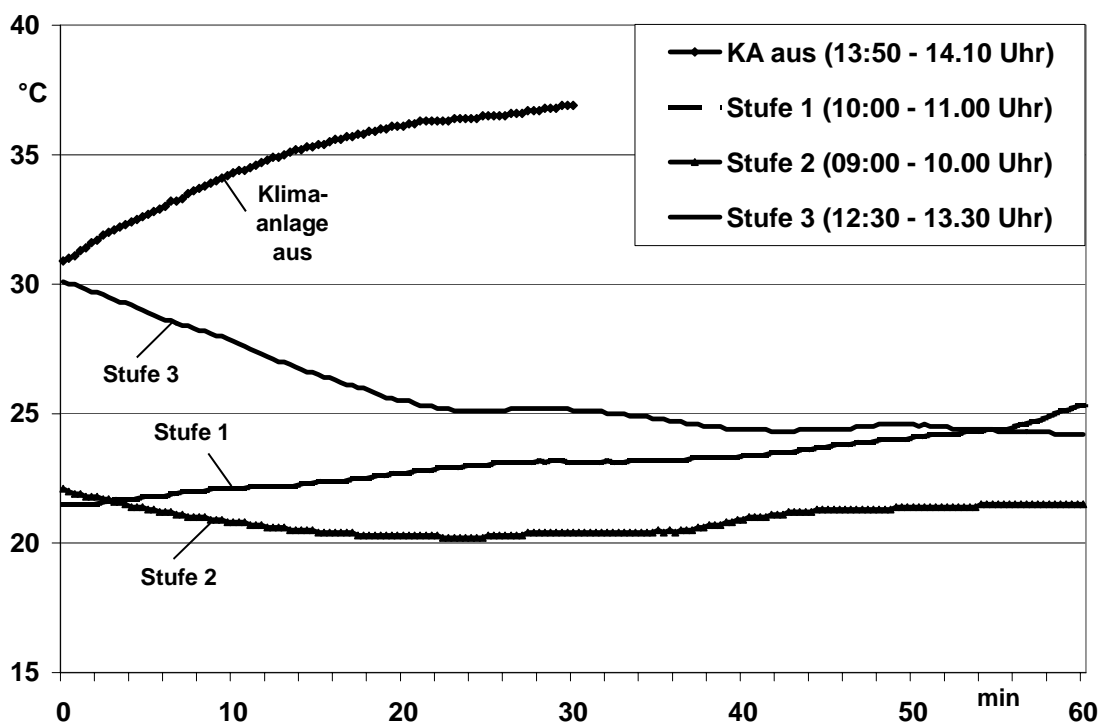


Abb. 23: Verlauf der Lufttemperatur im Kopfbereich bei verschiedenen Gebläsestufen (New Holland TN 75)

In der Kabine des New Holland ergaben sich in Abhängigkeit von der Gebläsestufe völlig unterschiedliche Verläufe der Lufttemperatur im Kopfbereich über Zeiträume von einer Stunde:

Bei Gebläsestufe 1 und maximaler Kühlung stiegen die Werte fast konstant leicht an von 21,5 °C bis auf einen Endwert von etwas über 25 °C. Der Optimalbereich von 20 °C bis 26 °C wurde zwar zu keinem Zeitpunkt verlassen, gegen Ende der Messdauer näherte sich allerdings dem oberen Grenzwert dieses Optimal-Korridors.

Bei Gebläsestufe 2 verzeichnete die Temperatur geringe Schwankungen. Zu Beginn der Messung fällt die Temperatur von 22,0 °C auf einen Wert knapp über 20 °C, der bis 35 Minuten gehalten wird. Danach pendelt sich der Wert wieder zwischen 21 °C und 22 °C ein und erreicht einen Endwert von 21,5 °C. Diese Mess-Sequenz erfolgte allerdings eine Stunde früher als die Messung mit Stufe 1; die Beanspruchung der Klimaanlageleistung war hierbei sicherlich etwas geringer. Die Grenzwerte der Lufttemperatur wurden zu keinem Zeitpunkt überschritten.

Die stärkste Gebläsestufe 3 schaffte – trotz Messzeit in der Mittagshitze – Konstanttemperatur nach einem Drittel der Messzeit. Zu Beginn lag die Temperatur im Kopfbereich noch bei 30,0 °C und fiel nach 20 Minuten auf einen Wert zwischen 25 °C und 24 °C, der bis zum Ende der Messung besteht. Der Optimalbereich der Lufttemperatur war zwar zu Beginn der Messung verlassen, wurde aber nach vertretbarer Zeitspanne erreicht.

Exemplarisch wurde am Schlepper von New Holland getestet, wie sich die Temperatur verhält, wenn die Klimaanlage ausgeschaltet ist. Die Messzeit wurde auf 30 Minuten begrenzt, aber am selben Tag wie auch die übrigen Messungen dieses Fabrikats durchgeführt. Wie die Abb. 23 zeigt, verlief die Temperatur im Kopfbereich über den gesamten Messzeitraum bei Gebläsestufe 3, geöffneter Heckklappe und ausgeschalteter Klimaanlage stark ansteigend. Die hohe Anfangstemperatur ergab sich, weil die Klimaanlage bereits einige Zeit vor Beginn der Messung ausgeschaltet worden war. Zum Ende der Messzeit erreicht die Temperatur im Kopfbereich einen Wert von 36,5 °C. Die geforderten Grenzwerte werden über die gesamte Messzeit überschritten, da die durch Sonneneinstrahlung eindringende Wärme nicht gezielt abgeführt wurde; unter diesen Bedingungen ist eine weitere, über die Messzeit hinausgehende Erwärmung des Kabineninnenraumes wahrscheinlich, wurde aber nicht dokumentiert.

Die gleichzeitig im Fußbereich gemessenen Temperaturen werden im Schaubild der besseren Lesbarkeit wegen nicht dargestellt. Die Trendlinien des Fußbereichs verlaufen jeweils vergleichbar mit denen des Kopfbereiches, mit niedriger liegenden Temperaturwerten. Die Temperaturdifferenz liegt bei Gebläsestufe 1 und 2 jeweils innerhalb des Grenzwertes von 3 °C. Lediglich bei der Messreihe mit Stufe 3, die in der Mittagszeit erfolgte, ergab sich eine durchschnittliche Differenz von 4,7 °C, also eine Überschreitung über den gesamten Verlauf der Aufzeichnung um 1,7 °C.

Die relative Luftfeuchte stellte sich im Verlauf der Messungen als relativ träge, wenig durch die Klimaanlageleistung beeinflussbare Kenngröße heraus. Sie bewegte sich meist im geforderten Wertebereich.

Die gemessenen Werte der Außentemperatur verliefen sehr sprunghaft, da der Sensor des außen am Schlepper befestigten Thermometers immer wieder – je nach Fahrtrichtung – der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt war, und ist somit wenig aussagekräftig. Es ist auch kein direkter Zusammenhang mit der beobachteten Kabineninnentemperatur zu erkennen.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass bei den Messungen am New Holland – mit Benutzung der Klimaanlage - zu keinem Zeitpunkt eine Klimasituation entstand, in der eine merkliche Leistungs-

minderung zu erwarten ist. Allerdings stellte sich das Wetter am Tag der Messung auch als moderates Sommerwetter dar, so dass letztendlich nicht ganz der „worst case“ geprüft werden konnte.

Testschlepper Fendt 208 V (Vorserienmodell)

Mit einem Schleppermodell der Fendt 208 V-Vorserie wurden am 18. September 2004 Klimamessungen während eines Bodenpflege-Mulcheinsatzes durchgeführt. In drei Abschnitten unterteilt erfolgte die Messung. Die Zeitspannen der jeweiligen Messabschnitte sind der Abbildung 24 zu entnehmen. Wie beim New Holland wurde auch hier die Temperaturvorwahl auf „maximal kalt“ eingestellt, während die Gebläsestufen (1, 2, 3) variiert wurden.

Die durchschnittliche Außenluft-Temperatur in 2 m Höhe betrug an diesem Tag moderate 14,3 °C. Die mittlere relative Luftfeuchte lag bei 77,0 %, während der Messungen gab es keinen Niederschlag. Der Himmel war über den ganzen Tag klar und wolkenlos, so dass eine Beeinflussung der Messergebnisse durch fehlende Sonneneinstrahlung ausgeschlossen werden kann.

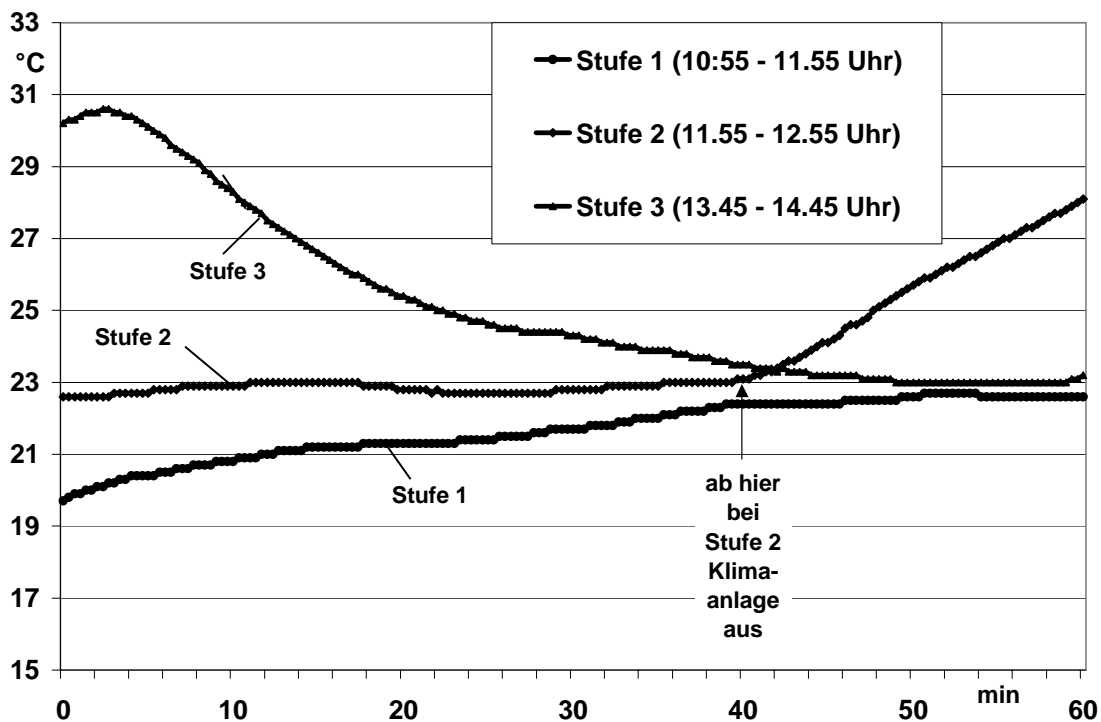


Abb. 24: Verlauf der Lufttemperatur im Kopfbereich bei verschiedenen Gebläsestufen (Fendt 208 V Vorserie)

Beim Messdurchgang im Schlepper der Firma Fendt bei Gebläsestufe 1 – dem frühesten von der Tageszeit her – verlief die Temperaturkurve im Kopfbereich leicht ansteigend auf einen Endwert von 22,5 °C. Der Optimalbereich der Lufttemperatur in der Kabine wurde dennoch jederzeit eingehalten. Auch die Temperaturdifferenz zwischen Kopf- und Fußbereich lag stets innerhalb des Grenzwertes von 3 °C.

Bei der zweiten Messreihe hielt sich die Temperatur im Kopfbereich zunächst über den Zeitraum von etwa 40 Minuten sehr konstant im Bereich von 22 °C bis 23 °C. Auch die Temperaturdifferenz zum Fußbereich war nie größer als 3 °C. Nach 40 Minuten Messzeit wurde der Schlepper in der Sonne abgestellt und die Klimaanlage ausgeschaltet. Ab diesem Zeitpunkt stieg – trotz nicht sehr hoher Außentemperaturen – durch die Sonneneinstrahlung die Lufttemperatur in der Kabine in

kürzester Zeit auf über 28 °C an, wobei nur durch Beendigung der Messreihe (Speicherkapazität des Messgerätes begrenzt) ein weiterer Anstieg nicht mehr dokumentiert werden konnte.

Am Anfang der dritten Messreihe betrug die Temperatur im Kopfbereich noch von der vorhergehenden zweiten Messreihe 30,0 °C und fiel durch die In-Betrieb-Nahme der Klimaanlage innerhalb von 30 Minuten konstant ab. Ab diesem Zeitpunkt verlief die Temperaturlinie gleichmäßig im Bereich zwischen 23 °C und 24 °C. Die geforderten Grenzwerte wurden dann auch ab der Messzeit von 20 Minuten wieder eingehalten.

Bei allen drei Messreihen bewegte sich die relative Luftfeuchte im geforderten Grenzwertekorridor, auch in der Phase ohne Klimaanlage. Es war somit kein direkter Zusammenhang der relativen Luftfeuchte mit der Temperatur in der Kabine zu beobachten.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass erst ab dem Zeitpunkt, zu dem die Klimaanlage abgeschaltet wurde, eine Klimasituation entstand, in der Leistungsminderung zu erwarten ist. Allerdings war die Klimaanlage bei den gegebenen Außenbedingungen ohne Schwierigkeiten in der Lage, in Kürze wieder ein angenehmes Kabinenklima herbei zu führen.

Zwei weitere Messtermine mit den Schleppern Fendt 208 V Serie (17.8.2004) und Krieger 80 A (24.8.2004) brachten wegen regnerischer und zu kühler Witterungsverhältnisse keine weiteren aussagekräftigen Ergebnisse.

Messungen der Luftgeschwindigkeiten

Um Anhaltspunkte bezüglich möglicher Zugluftsituationen zu erhalten, wurden die Luftgeschwindigkeiten bei maximaler Gebläsestufe direkt an der Austrittsöffnung gemessen. Es ergaben sich bei Fendt und Krieger Werte zwischen 3,2 und 4,6 m/s. Dem gegenüber lagen bei beiden Versuchsschleppern die gemessenen Werte in Kopfhöhe im Bereich von 0,3 und 0,4 m/s. Denn die hohen, direkt an den Verteilerdüsen gemessenen Luftgeschwindigkeiten werden durch Strömungsverluste und Verwirbelung bis zum Messpunkt am Körper auf diese deutlich geringeren Werte reduziert, sofern die Verteilerdüsen nicht direkt auf den Kopf und die Nacken- oder Schultergend des Fahrers gerichtet sind.

6.2 Diskussion der Messergebnisse

In allen durchgeführten Versuchen zur Bewertung von Klimaanlagen in Schmalspurschleppern lagen bis auf vereinzelte bewusst durch Inaktivierung der Klimaanlage hervorgerufene Ausnahmesituationen – sämtliche gemessenen Werte innerhalb der geforderten Grenzwertbereiche. Dies gilt sowohl für Deckentemperatur, Fußbodentemperatur, den vertikalen Lufttemperaturunterschied als auch für die relative Luftfeuchte. Aus den Messreihen ist ersichtlich, dass die Temperatur im Kabineninneren bei Nutzung der Klimaanlage über die Messzeit von 60 Minuten keinen inakzeptablen Schwankungen unterlag.

In der ersten Messreihe mit dem New Holland TN 75 N bei Gebläsestufe 1 und maximaler Kühlung stieg allerdings die Temperatur ab einer Messzeit von ca. 40 Minuten allmählich an. Hier ist zu vermuten, dass die Gebläseleistung bei Stufe 1 nicht mehr ausreichte, um den erhöhten Außentemperaturen sowie der Sonneneinstrahlung entgegenzuwirken. Es ist anzunehmen, dass hier die Temperatur bei einer Verlängerung der Messzeit noch weiter angestiegen wäre.

Die bei Gebläsestufe 3 festgestellte stetige Temperaturabsenkung dagegen bewies die generell ausreichende Leistungsfähigkeit der Klimatisierung bei den gegebenen Außenwitterungsbedingungen. Nur in dieser Messreihe entstand zeitweise eine zu große Temperaturdifferenz von über 3 °C zwischen Kopf- und Fußbereich; möglicher Weise führte die in den Fußraum absinkende

kühle Luft der Klimaanlage für diesen gemessenen Temperaturunterschied, was jedoch bei eher warmen sommerlichen Verhältnissen weniger kritisch einzuschätzen ist als bei insgesamt kühlen Lufttemperaturen.

Das exemplarische Messergebnis ohne Klimaanlage mit dem Schlepper von New Holland zeigte deutlich, in welchem Ausmaß dann die Temperatur im Kabineninneren zunehmen kann. Es entstand schnell ein Kabinenklima, bei dem mit starker Leistungsminderung zu rechnen ist. Hier überstieg die Temperatur bereits nach 10 Minuten sogar die Temperatur des Außenfühlers, der der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt war. Hiermit wird auch nochmals die Bedeutung einer funktions- und leistungsfähigen Klimaanlage bei Schmalspurkabinenschleppern unterstrichen, zumal wenn durch das Geschlossen-Halten der Kabinenöffnungen die Wetter- und vor allem Schallschutzfunktion zur vollen Wirkung kommen soll.

Die Luftgeschwindigkeit konnte aus messtechnischen Gründen nicht zuverlässig ermittelt werden. Jedoch sind die festgestellten Werte von 0,3 - 0,4 m/s im Kopfbereich des Fahrers zwar über dem geforderten Grenzwert, wurden aber nicht als unangenehm empfunden. Hier spielt die korrekte Einstellung der Luftdüsen – Einstellbarkeit vorausgesetzt – eine wichtige Rolle, damit negative Folgen von Luftströmungen vermieden werden. Denn die relativ kühle Luft kann bekanntlich schnell zu Zegerscheinungen mit entsprechenden gesundheitlichen Auswirkungen (Erkältung, Muskel- oder Gelenkbeschwerden) führen.

Mit den gemessenen Werten von Temperatur, Luftbewegung und Luftfeuchte sind lediglich Einzel-Aussagen zu jeweils diesen Parametern zu machen, es sind keine direkten Zusammenhänge herzustellen. Sollte die Beurteilung des thermischen Raumkomforts umfassend durchgeführt werden, müsste auch auf Kleidung, Arbeitsschwere, Schweißrate und andere physiologische Begebenheiten der Testperson eingegangen werden. Diese Parameter müssten dann bei jeder Messung identisch sein, ebenso die Außenbedingungen. Eine solche Messung, in der alle relevanten Faktoren berücksichtigt werden und die trotzdem der Praxis gerecht wird, ist im Fahrzeug „Schmalspurkabinenschlepper“ praktisch kaum umzusetzen.

Alle Versuche wurden mit lediglich einer einzigen Einstellung des Temperaturreglers durchgeführt. Es wurde nicht auf kurzfristige Schwankungen durch angepasste Einstellung reagiert, was in der Praxis seitens des Schlepperfahrers erfolgen würde. Noch komfortabler allerdings als die manuelle Änderung der Einstellung des Temperaturreglers wäre eine „Klima-Automatik“, wie sie in anderen Fahrzeugen verfügbar ist und die eine konkrete Wunschtemperatur-Vorwahl zulässt. Diese wird jedoch im Schmalspurschleppersektor bisher nicht angeboten.

Die Ergebnisse der verschiedenen Messreihen sind nur bedingt miteinander vergleichbar, da die Außentemperaturen und vor allem die Sonneneinstrahlung stark variierten bzw. nicht messbar waren.

Auch das Volumen des Innenraumes der jeweiligen Kabine und die Größe der verglasten Fläche haben Einfluss auf die Wärmeentwicklung und differieren je nach Hersteller (Tab. 2). Die ermittelten Werte der Glasflächen liegen allerdings so eng bei einander, dass hierdurch kaum relevante Auswirkungen zu erwarten sind.

Tab. 2: Glasflächen der Kabinen von zwei Testschleppern im Vergleich (PFAFFMANN, 2004)

Marke / Typ	Fendt 208 V Vorserie	New Holland TN 75 N
Kabinenhersteller	Fendt (D)	CNH (I)
Glasflächen	m²	m²
Frontscheibe	ca. 0,69	ca. 0,67
Seitenscheibe + Tür	je 1,10	je 1,10
Heckscheibe	ca. 0,59	ca. 0,56
Dachfenster	0,16	-
Gesamt	ca. 3,64	ca. 3,34

6.3 Maßnahmen zur Klimaoptimierung

Unabhängig von Art und Leistung der Klimaanlage können Vorkehrungen gegen die Erwärmung des Kabineninnenraums getroffen werden (primäre Vorkehrungen). Zum Beispiel wäre eine Installation von Sonnenrollos an jeder Glasfläche sinnvoll. Die Firma Fendt, welche als einzige ein ausstellbares Dachfenster anbietet, integriert an diesem ein solches Sonnenrollo. Obwohl es sich im Kabineninneren befindet und somit die eingestrahelte Wärme an die Raumluft abgegeben wird, ist durch eine sehr geringe Nähe zur Glasfläche eine akzeptable Abschirmung gewährleistet. Denkbar wäre also auch mit einem solchen Sonnenschutz weitere Einstrahlung z.B. durch die Seitenscheiben – vor allem bei Maschinenarbeiten, bei denen eine Rundumsicht nicht notwendig ist – zu verhindern. Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Wärmeentwicklung wäre der Einsatz von Wärmeschutzglas, das mit einer Tönung versehen ist.

Verbesserungsmaßnahmen in Bezug auf die Klimaanlage können folgende Punkte betreffen:

- Verbesserung der Wartungsfreundlichkeit, vor allem im Bezug auf die Reinigung (z.B. Lamellenpaket des Verdampfers): Die wichtigsten Bauteile sollten leicht zugänglich und reinigungsfreundlich gestaltet werden, um einen optimalen Wirkungsgrad zu gewährleisten.
- Möglichst günstige Platzierung des Verflüssigers, z.B. vor dem Kühler des Motors, um den Fahrtwind des Traktors und den Luftstrom des Lüfterrads zum besseren Wärmeaustausch nutzen zu können.
- Einbau einer Automatikfunktion, wie sie in Personenfahrzeugen eingesetzt wird, die die Lüfterleistung sowie Kühlleistung abhängig von der Temperatur im Kabineninneren regelt.

7 Bewertungen von Fahrerplätzen durch Prüfpersonen

Die für die Bewertungen der Testschlepper verwendete Prüfliste (s. Anhang) entstand auf der Basis von für Ackerschlepper-Bewertungen vorgesehenen Check-Listen (DUPUIS, 1981; RENIUS, 1985). Diese wurden für die Anwendung auf Schmalspur-Weinbergsschlepper nach Einschätzung des Autors und weiterer Fachleute mit Praxis-Erfahrungen entsprechend modifiziert. Nach einem „Probelauf“ an zwei Schleppern des Staatsweingutes mit Johannitergut, Neustadt a.d.W., wurden im November 2003 und November 2004 die Bewertungen der Testschlepper vorgenommen.

7.1 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt zunächst als Durchschnittsnoten-Diagramm, zusammengefasst aus allen Kriterienbereichen:

- Einstieg (= Zugang zum Fahrerplatz)
- Arbeitsplatzabmessungen (= Raumempfinden)
- Fahrersitz (= Maße, Gestaltung, Bedienung)
- Klimaanlage/Heizung (= Bedienungslogik)
- Sichtverhältnisse (= Sicht im Straßenverkehr, auf Anbauräume/Arbeitsgeräte)
- Anzeigeelemente (= Lesbarkeit, Verständlichkeit)
- Bedienelemente (= Anordnung, Unterscheidbarkeit)
- Sicherheit (= Verletzungsquellen, Hinweise)

Die Gesamt-Durchschnittsnote als arithmetischer Mittelwert der acht Kriterienbereiche (Abb. 25) zeigt – unter Nivellierung aller Differenzen bei Einzelmerkmalen – die tendenziell doch unterschiedliche Bewertung der Testschlepper.

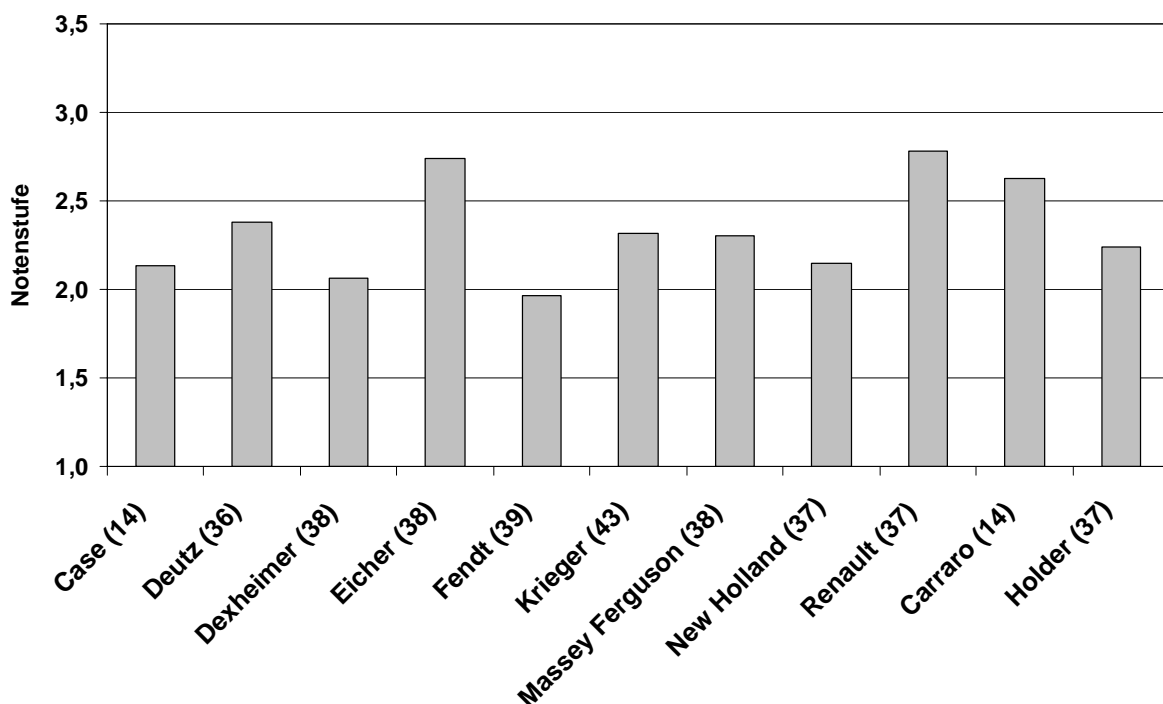


Abb. 25: Gesamt-Durchschnittsnote aller Kriterienbereiche; Angabe in Klammer = n

Dabei variiert diese Durchschnittsnote von 1,96 bis maximal 2,78. Vier Testschlepper – Fendt, Dexheimer, Case und New Holland – liegen nahe beim Wert von 2,0, vier weitere – Holder, Massey-Ferguson, Krieger und Deutz – zwischen 2,2 und 2,4, während die restlichen drei Fabrikate – Carraro, Eicher und Renault – mit einer Durchschnittsnote um 2,7 bewertet wurden.

Letztlich liegen die beiden nahezu baugleichen Schlepper von Case und New Holland mit 2,14 und 2,15 nur minimal auseinander, obwohl sie mit einem Jahr Zeitunterschied benotet wurden. Ein ähnliches, die Qualität der Bewertungen ebenfalls untermauerndes Ergebnis ist die geringe Differenz zwischen Deutz (2,30) und Massey-Ferguson (2,38), deren Fahrer-Arbeitsplatz ebenfalls als fast identisch anzusehen ist.

7.1.1 Bewertungen nach Bereichen

Im Folgenden werden die Bewertungen der Testpersonen bezogen auf die einzelnen Kriterienbereiche – der besseren Lesbarkeit wegen – in drei gleichartigen Diagrammen dargestellt: Abbildung 26 zeigt die Notenwerte der Vierer-„Spitzengruppe“, Abbildung 27 des Vierer-„Mittelfeldes“ und Abbildung 28 der drei Fabrikate, die nach dem Urteil der Prüfpersonen am ungünstigsten abschneiden. Jeweils als Vergleichslinie ist der Noten-Durchschnitt aller elf Testschlepper eingezeichnet.

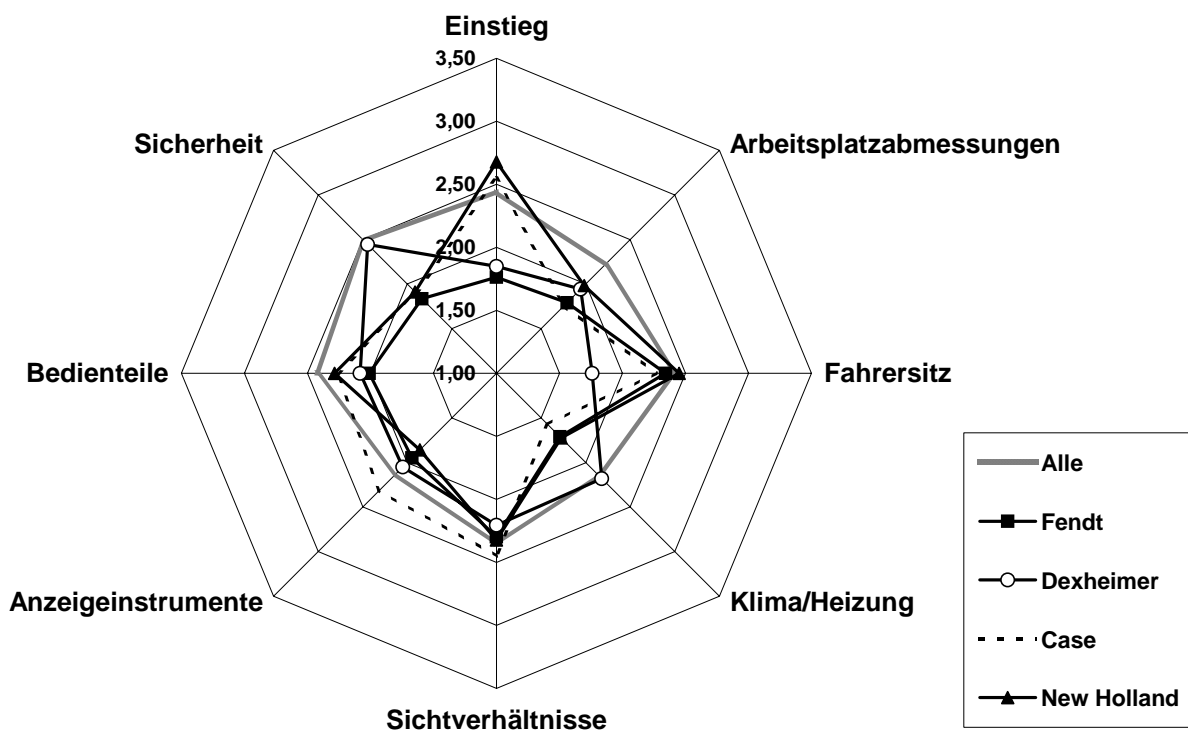


Abb. 26: Bereichs-Noten der „Spitzengruppe“

Sehr große Noten-Differenzen zeigt in der Spitzengruppe (Abb. 26) das Kriterium Einstieg, wo Fendt und Dexheimer deutlich besser als Case und New Holland und auch als der Gesamtschnitt bewertet wurden. Beim Fahrersitz schneidet Dexheimer in dieser Gruppe weitaus am besten ab, andererseits bei Klima/Heizung und Sicherheit nur durchschnittlich. Eng zusammen auf gutem Niveau werden die Arbeitsplatzabmessungen, aber auch die Bedienteile bewertet, während die Sichtverhältnisse sich fast deckungsgleich mit dem Gesamtdurchschnitt präsentieren. Erstaunlich ist, dass die Anzeige des Case deutlich schlechter als die des baugleichen New Holland abschneidet.

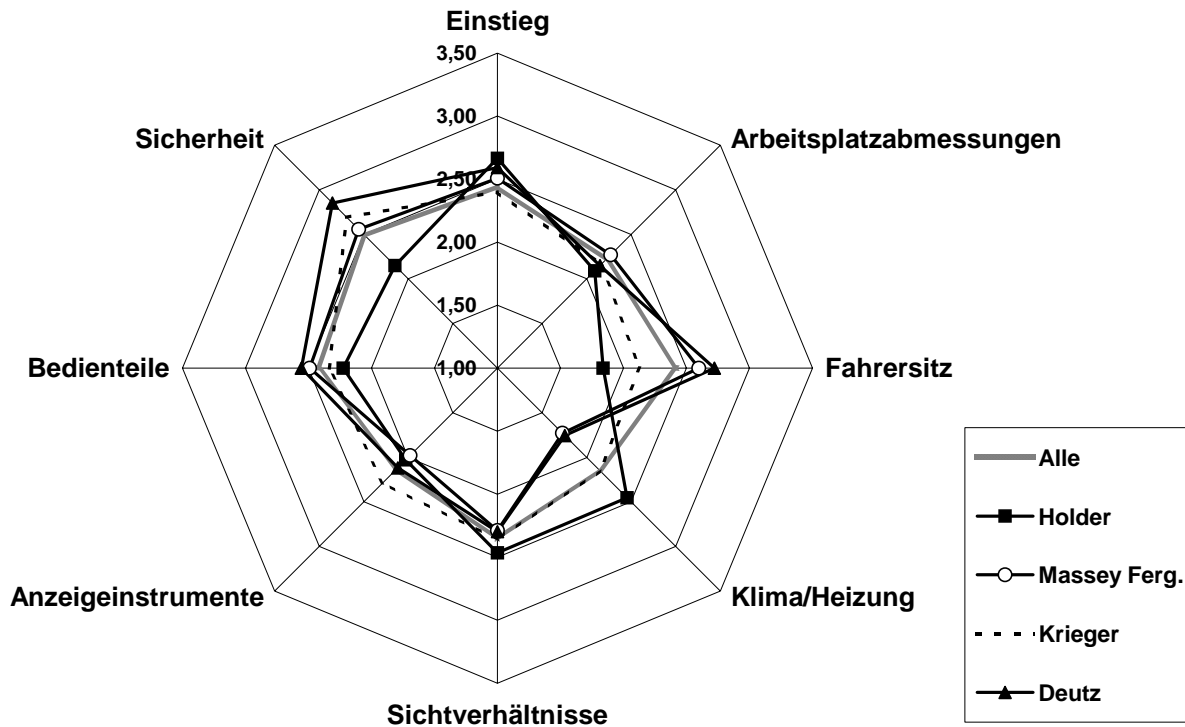


Abb. 27: Bereichs-Noten des „Mittelfeldes“

Bei gleichem Achsenmaßstab ist gut erkennbar, dass beim Mittelfeld (Abb. 27) nur noch einige wenige Bewertungspunkte deutlich innerhalb der Gesamtdurchschnitts-Linie liegen, während die Mehrzahl der Noten sich auf durchschnittlichem Niveau bewegt. Herausragend gute Noten erhält der Holder-Schlepper bei Fahrersitz und Sicherheit, ebenso wird die Klima-/Heizungslogik von Deutz und Massey-Ferguson gelobt. Eine sehr starke Notenspreizung ist bei den Kriterien Fahrersitz und Sicherheit zu erkennen.

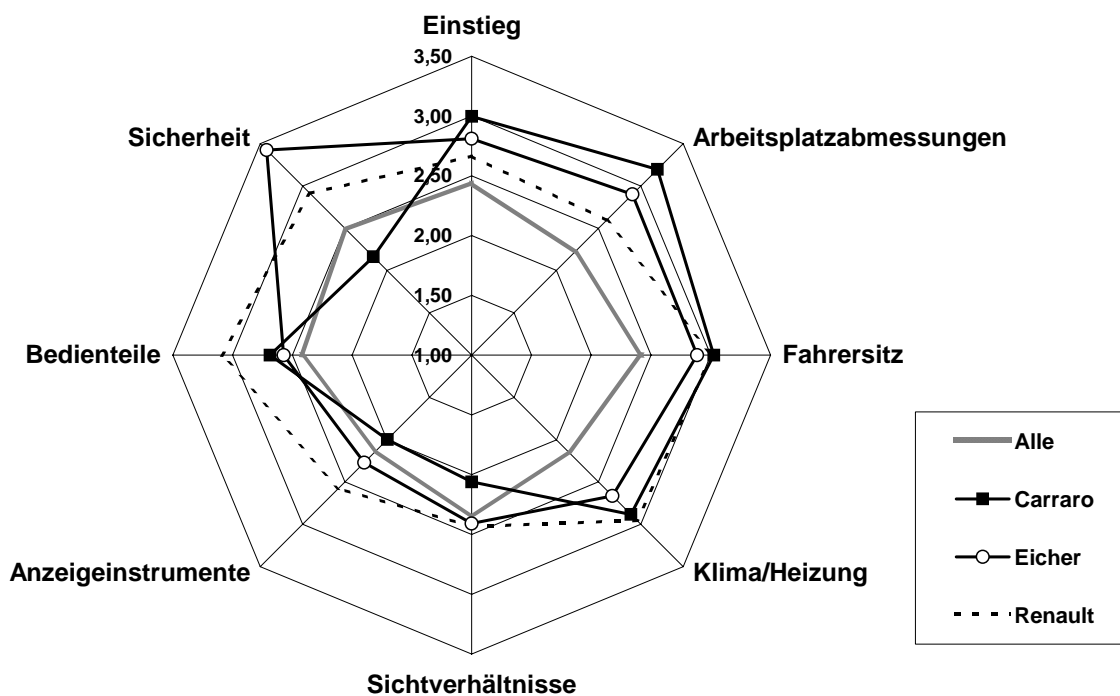


Abb. 28: Bereichs-Noten der übrigen Fabrikate

In der dritten Gruppe (Abb. 28) zeigen sich an den Bewertungen für den Carraro deutlich die Vor- und Nachteile des Knickschlepper-Konzeptes bezüglich der Fahrerplatz-Bewertung: Die beengten Platzverhältnisse wirken sich negativ auf die Noten für Einstieg, Arbeitsplatzabmessungen und den – sehr klein gestalteten – Fahrersitz aus. Dagegen wurden überdurchschnittlich gute Bewertungen für die Sichtverhältnisse vergeben. Der Eicher-Schlepper erreicht in keinem Bereich Durchschnittsniveau und fällt beim Punkt Sicherheit mit dem schlechtesten Notenwert aller Schlepper und Kriterien auf. Ähnlich negativ wurden die Anzeigen und Bedienteile im Renault eingestuft, der in sehr einfacher Ausstattung vorgestellt wurde; eine optional lieferbare, komfortablere Ausstattung hätte hier sicherlich bessere Ergebnisse erreichen können.

7.1.2 Einzelergebnisse

Im Folgenden werden für jeden Bewertungs-Bereich in Form einer Tabelle die ermittelten Durchschnittsnoten pro Einzelkriterium und Schlepper aufgelistet. Aus der Vielzahl der Anmerkungen zu den jeweiligen Einzelmerkmalen – speziell bei sehr guter bzw. negativer Bewertung - werden aus Platzgründen die am häufigsten genannten Stichpunkte aufgeführt.

Tab. 3: Einzelbewertungen zum Merkmals-Bereich „Einstieg“

	Erreichbarkeit des Fahrerplatzes	Stufen rutschhemmend	Abmessungen der Türöffnung	Platz ohne Behinderung erreichbar	Tür im Sitzen zu schließen	Einstieg
Case	2,92	4,25	2,00	2,21	1,36	2,55
Deutz	2,53	2,80	2,72	2,31	2,61	2,59
Dexheimer	2,05	1,74	1,61	1,87	1,97	1,85
Eicher	2,63	4,18	2,50	2,71	2,03	2,81
Fendt	1,69	1,67	1,97	1,87	1,62	1,76
Krieger	2,49	3,28	1,98	2,60	1,64	2,40
Massey-Ferguson	2,82	2,82	2,45	2,26	2,18	2,51
New Holland	2,56	4,15	2,29	2,68	1,71	2,68
Renault	2,68	2,89	1,92	3,49	2,35	2,66
<i>Carraro</i>	2,64	2,56	2,57	3,64	3,14	3,00
<i>Holder</i>	2,91	n.V.	2,20	2,14	3,40	2,66
Mittelwerte	2,49	2,93	2,18	2,46	2,15	2,44
Gewicht.Faktor	1	1	1	1	1	

Aus Tabelle 3 geht eine sehr deutliche Spreizung der Bewertungen der verschiedenen Testschlepper in einigen Einzelmerkmalen hervor. Bei der Benotung der Einstiegsstufen fallen besonders positiv Fendt und Dexheimer auf, während Case/New Holland wegen der großen Tritthöhe sowie Eicher und Krieger wegen ihrer zu glatten oder kleinen Trittstufen kritisiert werden. Insgesamt wird dieses Einzel-Merkmal auch mit der schlechtesten Durchschnittsnote im Bereich „Einstieg“ bewertet.

Die Abmessungen der Türöffnungen werden weitestgehend als gut bis befriedigend eingeschätzt. Bei Renault und Carraro stören beim Einsteigen die mechanischen Steuerventil- oder die Schaltebel.

Die beiden Knickschlepper verursachen durch ihre weit aufschwingenden Türen erhebliche Probleme beim Schließen der Tür, da sie vom Fahrersitz aus ohne aufzustehen nur von sehr großen Personen zu erreichen ist.

Der Einstieg von rechts wurde keiner Bewertung unterzogen, da er zum großen Teil durch in den Griffbereich der rechten Hand verlegte Hydraulikbedienteile (z.B. Joy-Stick) oft nicht begehbar ist.

Tab. 4: Einzelbewertungen zum Merkmals-Bereich „Arbeitsplatzabmessungen“

	Raumgefühl in der Kabine	Kopffreiheit bis zum Dach	Material der Kabinenverkleidung	Arbeitsplatz-abmessungen
Case	1,79	1,64	1,86	1,76
Deutz	2,53	1,64	2,28	2,15
Dexheimer	1,92	1,76	2,16	1,95
Eicher	2,63	3,05	2,87	2,90
Fendt	2,03	1,54	2,08	1,79
Krieger	2,56	1,56	2,98	2,16
Massey-Ferguson	2,05	2,47	2,08	2,27
New Holland	2,38	1,82	1,91	1,99
Renault	2,30	2,70	2,68	2,59
<i>Carraro</i>	3,36	3,50	2,43	3,20
<i>Holder</i>	1,97	2,00	2,40	2,09
Mittelwerte	2,29	2,09	2,37	2,21
Gewicht.Faktor	1	2	1	

Tabelle 4 dokumentiert das in den meisten Fällen als akzeptabel erachtete Raumempfinden innerhalb der Kabine. Hier macht nur der Carraro eine Negativ-Ausnahme; dies ist allerdings dadurch erklärbar, dass der Fahrer sich wegen des relativ hohen Getriebetunnels (36 cm von der Plattform aus + 25 cm Schalthebel) sozusagen als „in den Schlepper hineingepasst“ empfindet. Verstärkt wird dieser Eindruck durch die recht kleinvolumige Kabine – die andererseits wiederum beim Einsatz in engen Reb- oder Obstanlagen entsprechende Vorzüge hat.

Die Kopffreiheit in der Kabine wird weit überwiegend als gut bis sehr gut benotet. Nur die enge Carraro-Kabine und der niedrig bauende Eicher verzeichnen hier negative Urteile. Die Bewertungen des Kabinenverkleidungs-Materials sind wohl mit durch persönliche farbliche Vorlieben beeinflusst, aber insgesamt eher neutral. Am besten schneidet die Case/New Holland-Kabine ab.

Tab. 5: Einzelbewertungen zum Merkmals-Bereich „Fahrsitz“

	Abmessungen von Sitz / Lehne	Verstellmöglichkeiten	Zugang / Arretierung der Verstellung	Einstellen auf Körpergewicht	Formgestaltung / Polsterung	Material des Sitzes	Quetsch-/ Scherstellen	Fahrsitz
Case	2,50	2,14	2,21	1,85	2,43	2,86	2,14	2,27
Deutz	2,97	2,75	2,67	3,08	2,56	2,81	2,23	2,72
Dexheimer	1,24	1,58	2,00	1,89	1,61	2,39	2,05	1,76
Eicher	2,84	3,08	3,26	2,50	2,68	2,84	3,16	2,89
Fendt	2,31	2,13	2,21	2,31	2,38	2,82	2,41	2,34
Krieger	2,02	2,30	2,30	2,23	2,16	1,91	1,95	2,13
Massey-Ferguson	2,95	2,66	2,55	2,50	2,68	2,68	2,18	2,60
New Holland	2,94	2,26	2,21	2,18	2,82	2,76	2,00	2,45
Renault	2,92	3,14	3,41	3,08	2,73	2,97	3,00	3,01
<i>Carraro</i>	3,07	3,57	3,14	3,43	2,64	2,86	2,43	3,02
<i>Holder</i>	1,74	1,63	1,89	1,97	1,71	2,23	1,91	1,84
Mittelwerte	2,45	2,42	2,51	2,42	2,38	2,62	2,31	2,42
Gewicht.Faktor	2	2	1	2	2	1	2	

Bei der Bewertung des Fahrsitzes (Tab. 5) differenzieren die Prüfer sehr stark, wobei die Sitze mit mechanischem Federungs-Dämpfungs-System – nur aufgrund dieser Tatsache bereits – einer

negativen Grundhaltung von Seiten der Prüfer ausgesetzt waren. Dies zeigen die Noten für die Sitze von Deutz, Renault und Carraro. Wie weit andererseits die Bewertung eines Sitzes im Stand vom tatsächlich messbaren Leistungsvermögen, Schwingungsbelastung für den Fahrer vermeiden zu können, abweichen kann, dokumentieren die überwiegend guten Schwingungsmessergebnisse beim Renault (s. Kap. 5.1).

Insgesamt starke Kritik finden zu knapp bemessene Sitze und vor allem schwierige Einstellvorrichtungen auf Körpergröße und Fahrergewicht. Eine eindeutige Orientierung für die Einstellung auf das Fahrergewicht (z.B. Gewichts-Skala oder Farbsignale) sind als besonders wichtig anzusehen. Gleichzeitig muss der Einstellvorgang unkompliziert und schnell durchführbar sein.

Als herausragend gut werden die – baugleichen – Sitze von Dexheimer und Holder bewertet: Es handelt sich um den Sitz Compacto XL des Herstellers Grammer. Dieser wurde als der vergleichsweise komfortabelste Sitz eingestuft. Der Sitztyp Compacto L vom gleichen Hersteller – im Fendt und Krieger eingebaut – wurde demgegenüber um fast eine halbe Notenstufe abgewertet. In 2004 stand für ergänzende Tests ein Krieger-Schlepper, ebenfalls mit dem Grammer-Sitz Compacto XL ausgestattet, zur Verfügung, welcher dann vergleichbare Bestnoten wie im Dexheimer und Holder erhielt. Besonders lobenswert erschienen den Testpersonen die Rücken- und Armlehnen sowie der komfortable Gesamteindruck. Die gelungenen Bemühungen dieser Schlepperhersteller zur Lösung der grundsätzlichen Schwierigkeit, im engen Bauraum des Schmalspurschleppers einen „großzügigen“ Fahrersitz unterzubringen, wurden also direkt durch beste Bewertungen der Prüfer honoriert.

Beim Material des Sitzes wird dagegen nicht nur auf Bequemlichkeit, sondern auch auf Reinigungsfreundlichkeit geachtet, was die gute Note beim Krieger-Sitz belegt.

Tab. 6: Einzelbewertungen zum Merkmals-Bereich „Klima/Heizung“

	Logik der Heizung	Logik der Klimaanlage	Einstellung der Luftdüsen	Klimaanlage / Heizung
Case	1,43	1,36	1,93	1,57
Deutz	1,72	1,69	1,86	1,76
Dexheimer	2,26	2,27	1,84	2,18
Eicher	2,71	2,89	2,13	2,67
Fendt	1,72	1,74	1,64	1,71
Krieger	1,98	2,23	2,33	2,15
Massey-Ferguson	1,68	1,65	1,97	1,73
New Holland	1,65	1,65	2,03	1,72
Renault	2,54	3,00	3,69	2,96
<i>Carraro</i>	3,14	2,86	2,43	2,89
<i>Holder</i>	2,54	2,11	2,97	2,46
Mittelwerte	2,11	2,12	2,25	2,14
Gewicht.Faktor	2	2	1	

Bei der Bewertung der Bedienung von Klimaanlage und Heizung (Tab. 6) gibt es insgesamt die besten Notenwerte; fast die Hälfte der Kandidaten wird besser als 2,0 benotet. Nur beim Renault, Carraro und Eicher erschloss sich die Logik der Bedienung speziell der Klimaanlage offensichtlich nur unzureichend, was sicherlich durch eindeutige Beschriftung einfach behebbar wäre.

Tab. 7: Einzelbewertungen zum Merkmals-Bereich „Sichtverhältnisse“

	Sicht im Straßenverkehr	Sicht auf Koppelpunkte (3-Pkt)	Beobachtung Heckgeräte	Beobachtung Zwischenachsgeräte	Beobachtung Frontgeräte	Einstellung der Spiegel	Sonnenblende	Sichtverhältnisse
Case	1,57	3,29	3,00	1,79	3,08	1,79	3,07	2,45
Deutz	2,08	2,22	2,03	3,11	2,89	1,97	1,89	2,30
Dexheimer	1,82	2,37	2,13	2,32	2,92	2,24	2,05	2,20
Eicher	1,92	2,21	2,08	3,66	2,72	2,05	n.V.	2,41
Fendt	1,77	1,92	1,72	3,32	2,63	2,56	3,41	2,30
Krieger	2,05	2,60	2,40	2,32	2,85	2,00	2,79	2,36
Massey-Ferguson	2,34	2,32	2,11	2,41	3,21	1,89	2,26	2,29
New Holland	1,91	2,82	2,44	1,97	2,66	1,88	3,18	2,32
Renault	1,92	2,19	2,00	2,62	3,40	3,89	2,00	2,43
<i>Carraio</i>	1,71	1,93	1,57	n.V.	2,64	3,46	n.V.	2,06
<i>Holder</i>	2,29	2,26	2,03	n.V.	2,91	3,54	2,77	2,47
Mittelwerte	1,98	2,35	2,12	2,67	2,89	2,44	2,58	2,34
Gewicht.Faktor	3	3	4	3	1	2	1	

Am Schmalspurschlepper ergibt sich die Problematik der Sichtverhältnisse (Tab. 7) aufgrund seiner kompakten und niedrigen Bauweise verstärkt. Die Sicht im Straßenverkehr wird jedoch bei allen Testschleppern als ausgesprochen gut eingestuft.

Die Sicht beim Ankuppeln von Heckanbaugeräten und deren Beobachtung bei der Arbeit wird bei Fendt und Carraro bestens bewertet, während Case/New Holland – vor allem wegen der hinter dem Fahrersitz platzierten Batterie – hier Kritik ernten. Dieses Einzelkriterium erfuhr die stärkste Gewichtung bei der Durchschnittsberechnung, da immer noch die weitaus meisten Arbeitsgeräte im Anbauraum am Heck angebracht werden.

Andererseits wird genau bei den beiden letztgenannten Schleppern der Blick auf den Zwischenachs-Anbauraum mit Bestnoten belegt, was bei Eicher, Fendt und Deutz wiederum als nicht ganz befriedigend eingeschätzt wird. Hier werden nachgerüstete Hydraulikanschlüsse oder Werkzeugboxen als Sichthindernisse genannt. Carraro und Holder weisen als Knickschlepper keine Möglichkeit des Zwischenachs-Anbaus auf.

Die Einstellung der Rückspiegel wird übereinstimmend bei den baugleichen Ausführungen der Deutz-Fahr-Kabine (Deutz, Massey-Ferguson) und der CNH-Kabine (Case, New Holland) als am besten gelungen bewertet. Dagegen findet dieser Punkt bei Renault, Holder und Carraro kein Gefallen der Prüfer, denn hier lässt sich der Spiegel nicht vom Fahrerplatz, sondern nur von außen einstellen, was ein wiederholtes Aus- und Einsteigen – oder eine zweite Person! – erforderlich macht.

Als deutlich verbesserungsbedürftig wird die Sonnenblende von Fendt und CNH bezeichnet. Für das Nicht-vorhanden-Sein (n.V.) bei Eicher und Carraro wäre auch die Bewertung mit der schlechtesten Note 5,0 vertretbar.

Den insgesamt übersichtlichsten Schlepper stellt nach Einschätzung der Testpersonen der Carraro – vielleicht gerade wegen seiner extrem kompakten Bauweise – dar.

Tab. 8: Einzelbewertungen zum Merkmals-Bereich „Anzeigeeinstrumente“

	erforderliche Instrumente vorhanden	Anzeigen gut ablesbar	Verständlichkeit der Symbole	Beleuchtung der Anzeigen / Instrumente	Anzeigeeinstrumente
Case	2,29	2,79	2,07	1,50	2,32
Deutz	2,06	2,22	2,11	2,00	2,12
Dexheimer	2,00	2,11	2,05	2,05	2,05
Eicher	2,26	2,32	2,21	2,29	2,27
Fendt	1,90	1,77	2,26	2,03	1,95
Krieger	2,35	2,37	2,09	2,23	2,29
Massey-Ferguson	2,05	1,92	2,05	1,82	1,98
New Holland	1,94	1,71	2,06	1,65	1,86
Renault	2,81	2,73	2,19	2,19	2,58
<i>Carraro</i>	1,79	2,00	2,43	1,79	2,00
<i>Holder</i>	1,94	2,00	2,17	2,09	2,03
Mittelwerte	2,13	2,15	2,14	2,01	2,13
Gewicht.Faktor	3	3	2	1	

Im Bereich der Anzeigeeinstrumente (Tab. 8) bleibt aus Sicht der Prüfer wenig zu wünschen übrig: Noten überwiegend um 2,0 belegen, dass sowohl die erforderlichen Instrumente vorhanden, diese gut lesbar und auch verständlich sind. Der Schlepper von Renault mit seiner Einfach-Ausstattung verzeichnet zwar die ungünstigsten, aber immer noch befriedigende Bewertungen. In diesem Bereich sind die Bewertungen generell eher als exemplarisch anzusehen, da die Mehrzahl der Hersteller optional sehr unterschiedliche Ausstattungsvarianten anbietet und die Testschlepper somit nicht generell als repräsentativ einzustufen waren.

Tab. 9.1: Einzelbewertungen zum Merkmals-Bereich „Bedienteile“ (1)

	Anordnung Gangschaltung	Anordnung Gruppenschaltung	Anordnung Steuerventile	Anordnung Blinker	Anordnung Licht	Anordnung Scheibenwischer	Anordnung Warnblinker	Lenkradverstellbarkeit	Bedienteile (Gesamt-Ø)
Case	1,57	2,07	3,29	2,07	2,00	2,21	1,79	2,78	2,26
Deutz	2,89	2,83	2,42	2,78	2,17	1,97	1,80	2,47	2,56
Dexheimer	2,00	2,16	2,68	2,00	2,08	2,58	1,84	2,31	2,08
Eicher	2,58	2,50	2,71	3,82	2,79	2,35	2,00	n.V.	2,57
Fendt	1,87	2,28	2,15	1,67	1,90	1,95	1,82	2,51	2,01
Krieger	2,33	2,02	2,56	1,70	2,02	2,02	2,60	3,20	2,33
Massey-Ferguson	2,45	2,66	2,50	3,08	2,37	2,00	1,84	2,46	2,49
New Holland	2,09	2,18	2,97	1,97	1,79	2,24	1,97	2,46	2,28
Renault	3,08	2,65	2,95	2,49	2,11	2,44	2,14	n.V.	3,09
<i>Carraro</i>	2,21	2,57	2,64	2,21	1,79	2,14	1,57	2,20	2,69
<i>Holder</i>	n.V.	n.V.	1,63	1,94	2,00	2,14	1,91	3,55	2,23
Mittelwerte	2,36	2,39	2,53	2,35	2,12	2,19	1,98	2,70	2,41
Gewicht.Faktor	5	3	5	2	1	1	1	2	

Die Bewertungen der Bedienteile wird der besseren Übersicht wegen in den zwei Teiltabellen 9.1 und 9.2 dargestellt. Bei der Bildung des gewogenen Mittelwertes als Bereichsnote wurden hier die deutlichsten Gewichtungsdifferenzen vorgegeben. Bedienteile, die ständig beim Arbeiten betätigt werden müssen, sind wesentlich stärker in Ansatz zu bringen als Funktionen wie Warnblinker, Scheibenwischer, Licht, die nur gelegentlich benutzt werden.

Die Schalthebel zur Gang- bzw. Gruppenwahl werden in der Mehrzahl als gut platziert angesehen. Beim Holder in der vorgestellten Ausrüstung mit Dual-Drive-Antrieb (Teilhydrostat) erübrigt sich sowohl Gangschaltung als Fahrkupplung, so dass hier keine Bewertung möglich war.

Die Anordnung der Steuerventile wird bei den vorgestellten Schleppern mit (z.T.) mechanisch schaltbaren Ventilen (Case, Eicher, New Holland, Renault) am stärksten kritisiert – wobei auch diese Hersteller alternativ komfortable Elektroschalter anbieten. Solche Schalterelemente werden – wenn vorhanden – auch von den Testern entsprechend besser eingestuft (Holder, Fendt).

Bedienteile für den Straßenverkehrseinsatz sind überwiegend sehr gut bis gut angeordnet, wobei der Warnblinkerschalter insgesamt als am günstigsten positioniert angesehen wird.

Die Verstellbarkeit des Lenkrades in Höhe oder Neigung – nicht bei allen Schleppern möglich – wird mit gut bis befriedigend benotet, wobei einzelne Fabrikate hierbei eine deutlich schwächere Bewertung erfahren, z.B. wenn die Verstellvorrichtung schwer auffindbar ist. Im Vergleich gefiel den Prüfern die Höhenverstellung in Richtung der Lenkradachse besser als die Neigbarkeit des Lenkrades.

Tab. 9.2: Einzelbewertungen zum Merkmals-Bereich „Bedienteile“ (2)

	Anordnung Gaspedal	Anordnung Bremspedal	Anordnung Fahrkupplungs- pedal	Gaspedal bequem erreichbar	Betätigungskraft Fahrkupplung	Unterscheidbarkeit benachbarter Hebel	Verständlichkeit der Symbole	Material der Bedienteile	Bedienteile (Gesamt-Ø)
Case	2,93	1,93	1,93	2,79	1,43	2,36	2,21	2,21	2,26
Deutz	2,67	2,28	2,42	2,77	2,86	2,49	2,54	2,46	2,56
Dexheimer	1,71	1,84	1,71	1,71	2,37	2,58	2,50	2,05	2,08
Eicher	2,32	2,18	2,26	2,53	3,00	2,71	2,97	2,68	2,57
Fendt	1,87	2,10	1,89	1,79	1,79	2,26	2,44	1,90	2,01
Krieger	2,28	2,30	2,42	2,09	2,49	2,29	2,37	2,37	2,33
Massey-Ferguson	2,58	2,39	2,53	2,55	2,50	2,37	2,39	2,34	2,49
New Holland	2,79	2,29	2,00	2,47	1,44	2,29	2,21	2,21	2,28
Renault	4,08	3,05	3,03	3,92	3,41	3,00	2,59	2,42	3,09
<i>Carraro</i>	2,86	3,07	3,07	3,43	3,00	2,57	2,86	2,29	2,69
<i>Holder</i>	2,26	2,57	n.V.	2,00	n.V.	2,09	2,57	2,14	2,23
Mittelwerte	2,52	2,35	2,30	2,46	2,45	2,45	2,51	2,28	2,41
Gewicht. Faktor	5	5	5	3	3	2	2	1	

Die Position des Gaspedals findet bei Dexheimer und Fendt mit Abstand die größte Zustimmung, dagegen teilweise massive Kritik bei Case/New Holland, Carraro und besonders bei Renault. Speziell die beiden letztgenannten Fabrikate werden bei sämtlichen Pedalen schlecht benotet; dies ist beim Carraro allerdings sehr stark auch durch die Funktion des Wendefahrersitzes bedingt, weil dazu die Pedale wegklappbar ausgeführt sind – unter notwendigem Verzicht auf ergonomische Optimierung. Bei Renault wird der insgesamt zu enge Fußraum bemängelt, außerdem das zu weit außen positionierte Gaspedal.

Deutliche Notendifferenzen ergeben auch die unterschiedlichen Betätigungskräfte für die Fahrkupplung, was sicherlich - bei geringem Kraftbedarf - als ernst zu nehmender Komfortfaktor anzusehen ist.

Tab. 10: Einzelbewertungen zum Merkmals-Bereich „Sicherheit“

	Quetsch- / Scherstellen an / in der Kabine	Stoß- / Schnittstellen	Hinweise verständlich / sichtbar / dauerhaft	Sicherheit
Case	1,29	1,92	2,50	1,90
Deutz	2,41	2,46	3,69	2,85
Dexheimer	1,68	2,32	3,35	2,45
Eicher	3,32	3,49	3,47	3,43
Fendt	1,36	1,87	2,28	1,84
Krieger	2,53	2,81	2,73	2,69
Massey-Ferguson	1,97	2,22	3,49	2,56
New Holland	1,82	2,06	1,85	1,91
Renault	2,33	2,64	3,76	2,91
<i>Carraro</i>	1,62	2,23	2,64	2,16
<i>Holder</i>	1,69	2,09	2,69	2,15
Mittelwerte	2,08	2,41	2,97	2,48
Gewicht.Faktor	1	1	1	

Im Bereich Sicherheit (Tab. 10) attestieren die Prüfer den vorgestellten Schleppern meist gute Noten. Einzig der Eicher-Schlepper fällt – sogar bei der Beurteilung im Stand - durch inakzeptabel viele Verletzungsquellen innerhalb der Kabine auf, die überwiegend auf zu schlichte Verarbeitungsqualität zurückgeführt werden.

Die Verständlichkeit und Dauerhaftigkeit von Sicherheitshinweisen lässt bei fünf der getesteten Schlepper deutlich zu wünschen übrig, hier übertrifft der New Holland mit dem besten Ergebnis die anderen Testkandidaten.

7.2 Diskussion der Ergebnisse

Anlass für die Aufnahme der Bewertung der Testschlepper durch fachkundige Personen in die vorliegende Untersuchung war ein Teilergebnis der ATW-Studie 130 „Weinbergsschlepper in der

Praxis“ (REBHOLZ, 2003). Im Rahmen jener Umfrage ergaben sich im Bereich „Fahrerplatz“ sowie bei der Bedienung von Allrad, Differenzial und Zapfwelle die verhältnismäßig schlechtesten Praktiker-Urteile – für die in den Betrieben im Einsatz befindlichen, teilweise auch älteren Schleppermodelle. Demgegenüber den Stand bei aktuell verfügbaren Schmalspurschleppern zu erfassen, war deshalb Ziel der jetzt durchgeführten Bewertungen.

Eine absolute Gültigkeit der dabei vergebenen Noten kann sicherlich nicht behauptet werden. Dennoch zeigen sich bei zahlreichen Einzelmerkmalen markante Differenzen in der Bewertung, die - wegen der unabhängig voneinander arbeitenden Prüfergruppen - zulässige Aussagen erlauben. Dies wird noch unterstrichen durch die vielfach inhaltlich deckungsgleichen Kommentare zu besonders positiven oder negativen Benotungen. Ob die geforderte Neutralität bei der Notenvergabe stets eingehalten wurde, lässt sich letztlich kaum kontrollieren. Aber als ein Beleg für eine weitgehende Umsetzung dieser Vorgabe sind die Notenwerte für den Schlepper von Holder anzusehen, ein Schlepper, der im Anbaugbiet Pfalz wegen der ebenen Topographie äußerst selten zu finden ist und dem die Prüfpersonen zunächst etwas „argwöhnisch“ begegneten.

Wie individuell jeweils Benotungen eines Einzelmerkmals auch vom persönlichen Empfinden des einzelnen Prüfers abhängen, zeigt das Beispiel der Pedalanordnung für Bremse und Fahrkupplung: Teilweise sind diese Pedale stehend, teilweise hängend angeordnet. Eine eindeutige Präferenz für eine der beiden Varianten lässt sich aus den Durchschnittsnoten nicht ableiten, selbst wenn für die Einzelperson eine klare Bevorzugung einer Anordnungsart gegeben ist.

Die vorliegenden Beurteilungen der Schlepper durch die Testpersonen sind einerseits für Schlepper-Kaufinteressenten als Informationsquelle hilfreich, andererseits – vielleicht noch verstärkt – für die Hersteller als Hinweise auf verbesserungswürdige Merkmale oder gelungene Lösungen zu verstehen.

Viele grundlegende Veränderungen im Bereich der Ergonomie können jedoch meist nur mittelfristig bei der Modellpflege oder der Neukonzeption einer Serie vorgenommen werden. Entscheidungsspielraum seitens des Benutzers gibt es dagegen bei der Wahl der Ausstattungsvariante (z.B. Art der Steuerventile) oder des Schleppersitzes; dieser Spielraum sollte auch wohlüberlegt genutzt werden.

7.3 Entwicklung der Ergonomie des Schmalspurschlepperfahrerplatzes

In der bereits mehrfach zitierten Vergleichsuntersuchung von Schmalspurschleppern (RÜHLING, STRUCK U. UHL, 1989) wurde bei der Bewertung der Arbeitsplatzgestaltung deutlich darauf hingewiesen, dass die optimale Unterbringung und Anordnung der Betätigungselemente „aufgrund der kompakten Bauweise des Schmalspurschleppers nur teilweise möglich“ ist. Trotzdem waren „mehrerheitlich von den Fahrern als tauglich bezeichnete Lösungen verwirklicht“. Die hinsichtlich Funktionstauglichkeit und Schwergängigkeit geäußerte Kritik an der damals getesteten Schlepเปอร์generation ist heute nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie kaum noch gegeben. Allerdings wurde die schon 1989 am häufigsten genannte zu enge Anordnung von Pedalen und Hebeln auch bei den aktuell bewerteten Schleppern teilweise immer noch als bedienungsfreundlich empfunden.

Die beispielhafte Gegenüberstellung der Abbildungen von zwei Schleppern des Herstellers Dexheimer illustriert die eben gemachten Aussagen. Der ältere Schleppertyp (345 SC) war – ohne Kabine – in die Untersuchung aus 1989 mit einbezogen, der neue Schlepper (480 Si) in den vorliegenden Vergleich.

Abbildung 29 zeigt den „Einstiegsweg“ zum Fahrerplatz. Augenfällig ist der Unterschied bezüglich einer Behinderung durch Schalthebel und Steuerventile. Insgesamt bleibt beim aktuellen Modell ein bequemerer Durchgang in Breite und Höhe frei.



Abb. 29: Einstiegsbereiche beim Dexheimer 345 SC (links) und 480 Si (rechts)

In Abbildung 30 wird beim Modell 345 SC der Blick des Fahrers auf die Steuerhebel der Hydraulikanlage eingenommen: Die Hebel sind z.T. durch das Lenkrad verdeckt, schlecht unterscheidbar und nahe beieinander liegend. Im Modell 480 Si übernimmt ein Kreuzschalthebel die Steuerung zweier Hydraulikventile, weitere Schalter befinden sich direkt in der Nähe der rechten Armlehne (nicht im Bild); somit ist eine gute Erreichbarkeit und bessere Unterscheidbarkeit gegeben.



Abb. 30: Steuerventilhebel beim Dexheimer 345 SC (links) und 480 Si (rechts)

Ähnlich deutliche Vergleichsabbildungen ließen sich mühelos für andere Fabrikate finden, die in beiden Schleppergenerationen mit entsprechenden Modellen vertreten waren und sind.

Insofern kann die Aussage von RÜHLING, STRUCK U. UHL (1989) aus heutiger Sicht als sehr weitgehend umgesetzt betrachtet werden: „Von dem ergonomischen Vorbild der Standard-Ackerschlepper können weitere grundsätzliche Verbesserungsansätze abgeleitet werden. Eine fortlaufende Anpassung des Schmalspurschleppers ist daher als langfristiger Prozess zu erwarten.“ Dies gilt übrigens über die ergonomischen Aspekte hinaus auch für die technische Ausstattung.

8 Zusammenfassung

In 2003 und 2004 wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Lärmmessungen am Fahrerohr beim Fahren ohne Last sowie im Stand
- Schwingungsbelastungsmessungen auf marktüblichen Sitzen auf Schmalspurschleppern auf fester Fahrbahn und bei verschiedenen Einsatzbedingungen
- Messungen von Raumklimafaktoren in Schmalspurschlepperkabinen
- Qualitative Bewertung von Fahrerplätzen (Bedienungsfreundlichkeit, Anordnung, Logik) durch ein Prüfer-Panel

Die **Lärmmessungen** zeigen, dass bei Fahrt mit geschlossener Kabine – von zwei Ausnahmen abgesehen – die getesteten Schlepper den derzeitigen Grenzwert der Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft von 85 dB(A), der die Bereitstellung von Gehörschutzmitteln durch den Arbeitgeber erforderlich macht, einhalten konnten. Bei geöffnetem Führerhaus stieg jedoch der Lärmpegel meist auf Werte um 90 dB(A) an, was zur Benutzung der Schallschutzmittel zur Vermeidung von Gehörschäden zwingt.

Die **Schwingungsbelastungen** für den Fahrer bei Geschwindigkeiten von 25 und 35 km/h werden durch Reifen und Sitze soweit abgemildert, dass nur nach entsprechend großen – wenig praxisrelevanten – Fahrdistanzen negative gesundheitliche Auswirkungen zu erwarten sind. Die Fahrgeschwindigkeit erwies sich in den Vergleichen unterschiedlicher Einsatzbedingungen (Fahrbahn, Bereifung, Reifeninnendruck) als der entscheidende Einflussfaktor.

Die Messungen der **Klimafaktoren** in der Schlepperkabine bei ausgewählten Fabrikaten lassen auf eine im Allgemeinen ausreichende Leistungsfähigkeit der Klimaanlage schließen.

Die **Bewertungen** durch fachkundige Prüfpersonen belegen die überwiegend deutlichen und begrüßenswerten ergonomischen Fortschritte am Weinbergschlepper-Fahrerplatz. Diese basieren vor allem auf der Ausrüstung mit optimal angepassten Komfortkabinen, gesundheitsschonenden Sitzen und leicht und exakt steuerbaren Bedienteilen. Eine ergonomisch ausgereifte Ausstattung wird insbesondere mit der Nutzung einer zunehmenden Zahl von Gerätekombinationen zur Entlastung der Arbeitsperson immer wichtiger.

9 Literaturverzeichnis

ArbStättVO: Verordnung über Arbeitsstätten vom 20.03.1975

Bacher, R.: Möglichkeiten zur Minderung des Schlepperlärms durch Anwendung von Schallschutzkapseln, Grundlagen Landtechnik, Band 30, Nr. 2, München, 1980

Bacher, R. u. W. Söhne: Schallschutzkapseln an Ackerschleppern, Landtechnik, Band 30, Nr. 11, München, 1978

Bruel & Kjaer: Datenblatt und Beschreibung, Human-Schwingungsmesser Typ 2512 und Triaxial-Sitz-Beschleunigungsaufnehmer Typ 4322, Soborg (DK), 1981

Diestel, G.: Einzelwirkungen und Kombinationswirkungen von Lärm, mechanischen Schwingungen, klimatischen Bedingungen und körperlicher Arbeit auf physiologische Funktionen des Menschen, Inaugural-Dissertation, Mainz, 1983

DIN 45 645, Teil 1: Einheitliche Ermittlung des Beurteilungspegels für Geräuschimmissionen, Köln, Berlin, April 1977

DIN 45 645, Teil 2: Einheitliche Ermittlung des Beurteilungspegels für Geräuschimmissionen am Arbeitsplatz, Köln, August 1980

Uhlig, F. u. R. Kaiser: DLG-Prüfbericht 5175 F, John Deere „Activ Seat“, Fahrkomfort, <http://www.dlg-test.de>, Juli 2003

Dupuis, H.: Ergonomische Gestaltung von Schleppern und Landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen, Köln, 1981

EG-Richtlinie 77/311/EWG: Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über den Geräuschpegel in Ohrenhöhe der Fahrer von land- und forstwirtschaftlichen Zugmaschinen auf Rädern, Bonn, 1977

Eissing, G. u. a.: Klima und Luft am Arbeitsplatz, Köln, 1986

Feldmann, H.: Das Gutachten des Hals-Nasen-Ohren-Arztes, Stuttgart/New York, 1984

Göhlich, H.: Mensch und Maschine, Hamburg und Berlin, 1987

ISO 2631-1: Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, Juli 1997

Koch, O.: Ergonomische Untersuchungen von Schmalspurschlepperkabinen bezüglich der Belastungsfaktoren Lärm und mechanische Schwingungen, Diplomarbeit, Geisenheim, 2004

Konietzko, J., Dupuis, H. u. D.-M. Rose: Schwingungsbelastung und Berufskrankheit, Schriftenreihe Präventivmedizin - PM 2, Bundesministerium der Verteidigung – Referat Hygiene, Arbeits-, Umweltmedizin, Bonn, 1996

New Holland: Werkstatthandbuch, Abschnitt 50, Klimaanlage der Fahrer-kabine, Kapitel 1, 1998

Pfaffmann, St.: Untersuchung zur Bewertung der klimatischen Arbeitsbedingungen in Schmalspurschlepperkabinen, Diplomarbeit, Geisenheim, 2004

Rebholz, F.: Weinbergsschlepper in der Praxis, ATW-Bericht 130, Darmstadt, 2003

Renius, K. Th.: Traktoren – Technik und ihre Anwendung, München, 1985

Riedel, S.: Wirkungen mechanischer Schwingungen auf den Menschen - Analyse des Normungsdefizits und experimentelle Arbeiten zur Ergänzung des Kenntnisstandes, Darmstadt, 2000

Rolletter, B.: Untersuchungen zur Schwingungsbelastung des Fahrers auf Schmalspurschlepper, Diplomarbeit, Geisenheim, 1989

Rühling, W., Struck, W. u. W. Uhl: Schmalspurschlepper im Vergleich, KTBL-Schrift 337, Darmstadt, 1989

UVV Lärm (VGB 121): Unfallverhütungsvorschriften Lärm, Januar 1990

VDI-Richtlinie 2057, Blatt 1: Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen; Grundlagen, Gliederung, Begriffe, Düsseldorf, 1975

VDI-Richtlinie 2057, Blatt 2: Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen; Schwingungseinwirkung auf den menschlichen Körper, Düsseldorf, 1981

VDI-Richtlinie 2057, Blatt 3: Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen; Schwingungsbeanspruchung des Menschen, Düsseldorf, 1979

VDI-Richtlinie 2057, Blatt 1: Einwirkung mechanische Schwingungen auf den Menschen - Ganzkörper-Schwingungen - Blatt 1, Berlin, April 1999

VDI-Richtlinie 2058, Blatt 3: Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten, Düsseldorf, April 1981

Wenzel, H.-G. u. C. Piekarski: Klima und Arbeit, Bayerisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, München, 1980

Witte, E.: Lärmentwicklung von Schlepperanbau und -anhangegeräten bei praktischem Einsatz, Grundlagen Landtechnik, Band 32, Nr. 5, 1982

Zülch, G. u. R. von Kiparski: Messen, Beurteilen und Gestalten von Arbeitsbedingungen, Heidelberg, 1999

Anhang

- Prüfliste Schlepper-Arbeitsplatz

Anleitung zur Prüfliste

- Bewerten Sie die einzelnen Maschinen möglichst **unvoreingenommen** und **neutral** !
- Die Benotung erfolgt von 1 bis 5 gemäß den **Schulnoten** in ganzen Schritten.
 - 1 = sehr gut: Merkmal entspricht **in besonderem Maße** den Anforderungen
 - 2 = gut: Merkmal entspricht **voll** den Anforderungen
 - 3 = befriedigend: Merkmal entspricht **im Allgemeinen** den Anforderungen,
 - 4 = ausreichend: Merkmal weist zwar **Mängel** auf, entspricht aber **noch im Ganzen** den Anforderungen
 - 5 = mangelhaft: Merkmal entspricht **nicht** den Anforderungen

Bei einem **fehlenden** Merkmal ist **n.v.** (= nicht vorhanden) einzutragen.

- Bitte beurteilen Sie die einzelnen Punkte gewissenhaft und scheuen Sie sich nicht, auch besonders gute / schlechte Beurteilungen abzugeben, wenn Sie dieser Meinung sind. Bei Bemerkungen sollten **besondere Auffälligkeiten**, z.B. bei sehr guten / sehr schlechten Lösungen (Noten 1, 4, 5) eingetragen oder konkretisiert werden.
- Die Prüfung soll an jedem Schlepper **zügig ohne Unterbrechung** durchgeführt werden.
- Die Prüfliste ist **in der angegebenen Reihenfolge** zu bearbeiten und **vollständig** auszufüllen.
- Die gewünschte Angabe des **Namens** ermöglicht ggf. **Rückfragen**. Die **Auswertung** erfolgt auf jeden Fall **anonym**.
- Die Angabe der **Körpergröße** erfolgt **freiwillig**, ermöglicht aber die **Interpretation** der hiervon abhängigen Bewertungen.
- Bei Fragen oder eventuellen Unklarheiten wenden Sie sich an das betreuende Personal.

Im Voraus vielen Dank für Ihre Mitarbeit und viel Spaß bei der Prüfung

Prüfliste zur Beurteilung des Arbeitsplatzes von Schmalspurschleppern Teil I

Marke : _____ Name der Prüfperson: _____ Körpergröße der Prüfperson: _____

Modell: _____

1. Einstieg

- 1.1 Ist der Fahrerplatz (z.B. über Trittstufen, mit Haltegriffen) **leicht** und **sicher** zu erreichen?
- 1.2 Sind die **Einstiegsstufen rutschhemmend** ausgeführt ?
- 1.3 **Abmessungen** der Kabinenöffnung / Einstiegsöffnung
- 1.4 **Fahrersitz ohne Behinderung** durch Hebel, Pedale o.a. zu erreichen
- 1.5 **Kabinentür** im Sitzen zu **schließen**

Benotung	Bemerkungen

2. Arbeitsplatzabmessungen

- 2.1 Wie beurteilen Sie das **Raumgefühl** (Bewegungsfreiheit, Platzangebot) **der Kabine** ?
- 2.2 **Kopffreiheit** bis zum Kabinendach
- 2.3 **Material der Kabinenverkleidung** bzgl. Haltbarkeit, Reinigung/Pflege, Farbgestaltung

3. Fahrersitz

- 3.1 **Abmessungen** des **Sitzes** und der **Rückenlehne** (Tiefe, Breite, Höhe, Neigung)
- 3.2 Ausreichende **Verstellmöglichkeiten** (Anpassung an Ihre Körpergröße)
- 3.3 **Zugängigkeit** und **Arretierbarkeit** der **Verstellungen**

Benotung	Bemerkungen
Ja	wenn ja wo : _____
Nein	

3.4 Einfaches und sicheres **Einstellen** des **Körpergewichts**

3.5 **Formgestaltung** und **Polsterung**

3.6 **Material** des **Sitzes** bzgl. Haltbarkeit, Reinigung/Pflege, Wohlbefinden, Farbgestaltung

3.7 **Quetsch-** oder **Scherstellen** am **Sitz** oder **Sitzbereich** vorhanden (Ankreuzen)

4. Klima / Heizung

4.1 **Logische Bedienbarkeit** der - **Heizung**

- **Klimaanlage**

4.2 Einstellbarkeit der **Luftdüsen**

5. Sichtverhältnisse

5.1 Ausreichende **Sicht** im **Straßenverkehr**

5.2 Ausreichende **Sicht** auf **Koppelpunkte** (= Drei-Punkt-Vorrichtung)

5.3 Möglichkeit der **Beobachtung** von **Arbeitsgeräten**

- **Heckanbau**

- **Zwischenachs**anbau

- **Frontanbau**

5.4 Einstellbarkeit der **Spiegel**

5.5 Gut nutzbare **Sonnenblende**

6. Anzeigeninstrumente

6.1 Für den **Betrieb** erforderliche / ausreichende **Instrumente** vorhanden

6.2 Anzeigen in normaler Sitzposition **ablesbar** (ohne Verrenkung, blendfrei)

6.3 **Verständlichkeit der Symbole** auf den Anzeigen

6.4 **Beleuchtung** der Anzeigen / Instrumente

Benotung	Bemerkungen

7. Bedienteile

7.1 Beurteilung der **Anordnung der Handelemente**

- **Gangschaltung**

- **Gruppenschaltung**

- **Steuerventile**

- **Blinker**

- **Licht**

- **Scheibenwischer**

- **Warnblinker**

7.2 **Verstellbarkeit des Lenkrades** in Höhe und Neigung

7.3 Anordnung der **Pedale**

- **Gaspedal**

- **Bremse**

- **Kupplung**

Benotung	Bemerkungen

- 7.4 Lässt sich das **Gaspedal** in **bequemer Stellung** treten und halten?
- 7.5 Betätigungskräfte des **Kupplungspedals**
- 7.6 Nahe beieinander liegende **Hebel** gut **unterscheidbar**
- 7.7 **Verständlichkeit** der **Symbole** auf den Bedienteilen
- 7.8 **Material** und **Beschaffenheit** der Bedienteile

8. Bedienung und Sicherheit

- 8.1 **Quetsch-** und **Scherstellen** an/in der **Kabine** (Ankreuzen)
- 8.2 Vermeidung von **Stoß-** und **Schnittstellen**
- 8.3 Bedienungs-/Sicherheitshinweise **verständlich**, gut **sichtbar** und **dauerhaft** angebracht

Nein	Ja
wenn ja wo : _____	

9. Allgemeine Bemerkungen zum Gesamteindruck der Kabine / Verbesserungsvorschläge

Vielen Dank für Ihre freundliche Unterstützung und Mitarbeit !

KTBL–Veröffentlichungen zum Thema Wein– und Obstbau

KTBL–Schriften

Stand vom 16.08.2006

Nr.	Verfasser: Titel. Erscheinungsjahr	Bestell–Nr.
	Kauer, R., Fader, B.: Umstellung zum Ökologischen Weinbau (im Druck)	
421	Qualitätsmanagement im Obst– und Weinbau. Internationales ATW–Symposium 2004, 238 S., 26 €	11421

KTBL–Arbeitspapiere

256	Gesunder Boden durch Begrünung. Internationales ATW–Symposium 1998, 128 S., 16 €	18256
-----	----------------------------------------------------------------------------------	-------

KTBL–Sonderveröffentlichungen

	Böhme, Axel: Umweltgerechte Technik für den Steillagen–Weinbau. 2003, 108 S., 15 €	40044
	50 Jahre Ausschuss für Technik im Weinbau – Jubiläumsband 2002. 62 S., 10 €	40J50
	Pflanzenschutz im Wein– und Obstbau. Internationales ATW–Symposium 2001, 195 S., 19 €	40006
	37. ATW–Tagung für Weinbau–Fachberater 2006 in Bad Kreuznach. 37 S., 5 €	4037BT
	36. ATW–Tagung für Weinbau–Fachberater 2005 in Geisenheim. 35 S., 5 €	4036BT
	35. ATW–Tagung für Weinbau–Fachberater 2003 in Rödelsee. 30 S., 5 €	4035BT
	34. ATW–Tagung für Weinbau–Fachberater 2002 in Geisenheim. 30 S., 5 €	4034BT
	33. ATW–Tagung für Weinbau–Fachberater 2000 in Bad Kreuznach. 30 S., 5 €	4033BT
	32. ATW–Tagung für Weinbau–Fachberater 1999 in Geisenheim. 28 S., 5 €	4032BT
	31. ATW–Tagung für Weinbau–Fachberater 1997 in Geisenheim. 22 S., 5 €	4031BT

KTBL–Kalkulationsunterlagen

	Datensammlung Weinbau und Kellerwirtschaft. 2004, 12. Auflage, 92 S., 22 €	19478
	Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft. 2004/2005, 19. Auflage, 576 S. + CD–ROM, 23,50 €	19480
	Datensammlung Heil– und Gewürzpflanzen. 2001, 60 S., 16 €	19469
	Datensammlung Direktvermarktung. 2004, 97 S., 20 €	19476
	Datensammlung Obstbau. 2002, 3. Auflage, 139 S. + CD–ROM, 22 €	19468
	Datensammlung Ökologischer Obstbau. 2005, 1. Auflage, 116 S. + CD–ROM, 22 €	19479
	Taschenbuch Gartenbau. 1999, 5. Auflage, 256 S., A6, 256 S., 8 €	19459
	AVORWin – Kapazitätenplanung in der Außenwirtschaft. Version 2.0, 2002, CD–ROM, 30 €	43011
	Faustzahlen für die Landwirtschaft. 2005, 13. Auflage, 1129 S., 25 €	19482

KTBL–Arbeitsblätter Weinbau

91	Walg, O.: Entblätterungstechnik im Weinbau. 2006, 5 S., 4 €	42091
90	Walg, O.: Rebschnitt. 2005, 8 S., 4 €	42090
89	Walg, O.: Bindematerialien und Bindegeräte zum Biegen und Gerten. 2005, 5 S., 4 €	42089
88	Achilles, A.: Traubenvollernter – Typentabelle 2004. 6 S., 3 €	42088
87	Jäger, P.; Achilles, A.: Weinbau–Schmalspurtraktoren – Typentabelle 2004, 14 S., 3 €	42087
86	Rebholz, F.: Stapler im Weinbaubetrieb. 2002, 5 S., 3 €	42086
83	Binder, G.: Rotweinbereitung durch Maischegärverfahren. 2000, 8 S., 3 €	42083
82	Maul, D.: Bodenbearbeitung im Direktzug–Weinbau. 2000, 6 S., 3 €	42082
81	Uhl, W.;F. Rebholz: Ausbringtechnik für mineralische u. org. Düngemittel. 2000, 6 S., 3 €	42081

Nr.	Verfasser: Titel. Erscheinungsjahr	Bestell-Nr.
146	Hoffmann, B., M. Jacobi-Ewerth: Präsentation von Weingütern auf Messen. (im Druck)	
140	Rebholz, F.: Fahrerplatzgestaltung auf Schmalspurtraktoren. 2006, 81 S., 10 €	41140
139	Zipse, W.: Standort-Grünveredlung. 2006, 35 S., 8 €	41139
136	Uhl, W.: Automatische Steuerung für Laubschneider. 2003, 19 S., 6 €	41136
135	Seckler, J. et al.: Zielgröße Weinqualität – Optimierung der Entrappung. 2006, 90 S., 12 €	41135
134	Thies, L., C. Schneider, G. Röhrig: Brennereiwesen im Weinbaubetrieb. 2004, 42 S., 10 €	41134
132	Schygulla, M., B. Degünther: Selbstklebe-Etikettiertechnik. 2003, 43 S., 10 €	41132
130	Rebholz, F.: Weinbergsschlepper in der Praxis. 2003, 30 S., 10 €	41130
129	Cosma, C.: Schnelltests zur Untersuchung alkoholischer Getränke. 2003, 33 S., 10 €	41129
128	Schandelmaier, B.: Kieselgurfiltration für Klein- und Mittelbetriebe. 2004, 67 S., 10 €	41128
127	Jung, R., J. Seckler u. F. Zürn: Einfluss der „inneren Oberfläche“ (in Vorbereitung)	
126	Steinberg, B., G. Bäcker: Tropfbewässerung im Weinbau. 2004, 35 S., 11 €	41126
125	Weik, B.: Abbeermaschinen und Maischeförderung. 2003, 58 S., 10 €	41125
124	Eichler, S.: Flaschen-Außenwaschmaschinen für Winzerbetriebe. 2003, 45 S., 10 €	41124
123	Blankenhorn, D.: Thermische Verfahren zur Rotweinbereitung. 2005 (in Vorbereitung)	
122	Bäcker, G., W. Struck: Sprühgebläse der neuen Generation. 2002, 36 S., 8 €	41122
121	Schultz, H. R., C. Deppisch: Reflektierende Unterstockfolien. 2003, 39 S., 10 €	41121
120	Prior, B.: Schutzhüllen für Jungreben. 2002, 65 S., 9 €	41120
119	Jung, R., J. Seckler u. F. Zürn: Beeinflussung des Verschleißdrucks. 2001, 28 S., 7 €	41119
118	Müller, D.H., et al.: Direktkühlung bei der Weinproduktion. 2002, 74 S., 10 €	41118
117	Rühling, W.: Seilgezogene Mechanisierungssysteme. 2002, 24 S., 7 €	41117
115	Uhl, W.: Minimierung des Herbizidaufwandes. 2001, 46 S., 9 €	41115
114	Walg, O.: Mechanisierung des Rebschnitts. 2002, 33 S., 8 €	41114
113	Binder, G.: Rotweinbereitung in Erzeugerbetrieben. 2000, 118 S., 9 €	41113
111	Schwingenschlögl, P.: Schlagkarteien für den Weinbau. 2002, 30 S., 7 €	41111
110	Bäcker, G.: Mehrreihige Pflanzenschutzverfahren. 2000, 61 S., 9 €	41110
109	Schultz, H. R.: Minimalschnittsysteme. 2002, 71 S., 10 €	41109
108	Seckler, J. et al.: Transport und Förderung von Trauben und Maische. 2001, 55 S., 9 €	41108
107	Back, W.; J. Weiland: Kooperationsformen im Weinbau. 1998, 52 S., 9 €	41107
106	Maul, D. u. F. Rebholz: Standardschlepper im Direktzug-Weinbau. 2000, 27 S., 7 €	41106
105	Rühling, W.: Maschinelle Entblätterung. 1999, 36 S., 9 €	41105
104	Uhl, W.: Befahrbarkeit begrünter Rebassen. 1999, 23 S., 7 €	41104
103	Zürn, F. u. R. Jung: Alternative Verschlüsse für Weinflaschen. 2000, 33 S., 9 €	41103
102	Seckler, J.; Jung, R. u. M. Freund: Alternative Klärverfahren bei Most. 2000, 95 S., 9 €	41102
101	Fischer, U. et al: Intensivierung des Weinaromas. 2001, 106 S., 11 €	41101
100	Köhler, H. J.: Überschichtung von Anbruchgebinden. 1999, 50 S., 9 €	41100
99	Wohlfarth, P. u. T. Schorr: Dauerbegrünung in Trockenjahren. 1999, 36 S., 9 €	41099
97	Fischer, U.: Gärunterbrechungen und Behebung von Gärstörungen. 2000, 92 S., 9 €	41097
96	Müller, D. H.; B. Platzer u. B. Frech: Aktive Kühlung bei der Gärung. 1998, 105 S., 12 €	41096
94	Köhler, H. J.: Dampferzeugung. 1997, 40 S., 7 €	41094
93	Fehlow, C.; R. Jung; W. Pfeifer: Fassweinbereitung im Kleingebinde. 1997, 25 S., 7 €	41093
92	Uhl, W.: Lockerung begrünter Ertragsreblflächen. 1998, 37 S., 9 €	41092
91	Rühling, W.: Maschinelle Ausdünnung. 1999, 31 S., 7 €	41091
88	Seckler, J.: Ganztraubenpressung. 1997, 70 S., 9 €	41088
86	Bäcker, G.: Einfluss der Erziehungssysteme auf die Applikationsqualität. 1998, 48 S., 9 €	41086
81	Maul, D., B. Weik: Arbeitssicherheit und Arbeitsplatzgestaltung. 2001, 77 S., 9 €	41081

ATW-Berichte sind beim KTBL abrufbar. Über das gesamte KTBL-Veröffentlichungsprogramm können Sie sich im Veröffentlichungsverzeichnis informieren.

Es ist kostenlos erhältlich

beim KTBL, Bartningstraße 49, D-64289 Darmstadt www.ktbl.de; www.ktbl-shop.de

(Tel.:+49(0)6151/7001-0; Fax: +49(0)6151/7001-123; ktbl@ktbl.de)