

- [29] *Urlaub, A.*: Fortschritte auf dem Gebiet der Gemischbildung und Verbrennung im Motor. Automobiltechn. Zeitschr. ATZ Bd. 70 (1968) Nr. 8, S. 265/73.
- [30] *Havemann, H.A., M.R.K. Rao u. T.L. Narasimhan*: Leistungssteigerung durch das "Vergaser-Diesel-Verfahren" mit Alkohol. Motortechn. Zeitschr. MTZ Bd. 19 (1958) Nr. 2, S. 50/55.
- [31] *Binark, H.*: Die Bestimmung der Tropfengröße an einer Hohlkegeldüse. Automobiltechn. Zeitschr. ATZ Bd. 79 (1977) Nr. 5, S. 165.
- [32] DIN 51757 (Juni 1971): Prüfung von Mineralölen und verwandten Stoffen; Bestimmung der Dichte. Berlin u. Köln: Beuth 1971.
- [33] *Ramachandran, A.*: Utilization of vegetable oils as fuels for compression-ignition engines. Proc. Symposium on problems relating to the development of internal combustion engine. Industry in India, C.S.I.R., New Delhi (1954) S. 133/35.
- [34] *Wörgetter, M.*: Pflanzenöl als Traktortreibstoff? Die landt. Zeitschrift DLZ Bd. 30 (1979) Nr. 9, S. 1252/54.
- [35] *Iimoto, M.*: On the operation of small Diesel engine for farm use using rape-seed as fuel. Journ. of the Soc. of Agric. Machinery, Japan, Teil I: Vol. 38 (1977) No. 4, S. 483/87; Teil II: Vol. 40 (1978) No. 1, S. 5/9; Teil III: Vol. 41 (1979) No. 2, S. 201/206.
- [36] *Pernkopf, J.*: Pflanzenöl im Dieselmotor. Intern. Symposium der Österr. Gesellschaft für Land- und Forstwirtschaftspolitik, Reichenau a.d. Rax 1979.
- [37] *Bharave, R.V. u. P.V. Amrute*: Groundnut oil for Diesel engines. Current Science Bd. 11 (1942) Nr. 10, S. 403/404.
- [38] *Laporte, J.*: Crude linseed and sunflower oils as Diesel fuels. Chem. Abstr. Bd. 38 (1944) S. 467.
- [39] *Traulsen, H.*: Rapsöl Alternative zum Dieselöl? Bauernblatt für Schleswig-Holstein 33./129. Jg. (1979) S. 5315.
- [40] DIN 51 900 (Ausgabe 1977): Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe; Bestimmung des Brennwertes mit dem Bomben-Kalorimeter und Berechnung des Heizwertes. Berlin u. Köln: Beuth 1977.
- [41] *Orlicek, A.F. u. H. Pöll*: Hilfsbuch für Mineralöltechniker. 1. Bd. Wien: Springer 1951.
- [42] *Kersten, L.*: Die Märkte für Milch und Fette. Agrarwirtschaft Bd. 28 (1979) Nr. 12, S. 376/90.
- [43] *Bernhardt, W.*: Äthanol aus Biomasse als Kraftstoff für Automobile. Automobiltechn. Zeitschr. ATZ Bd. 81 (1979) Nr. 4, S. 151/57.
- [44] *Klostermann, H.-J., O.J. Banasik, M.L. Buchanan, F.R. Taylor u. R.L. Harrold*: Production and use of grain alcohol as a motorfuel — an evaluation. North Dakota Farm Res. Bull., Fargo, N. Dak. Bd. 35 (1977) Nr. 2, S. 3/9.
- [45] *Reinefeld, E., F. Wagner u. C. Winner*: Die Zuckerrübe als Energiepflanze? Zuckerindustrie Bd. 105 (1980) Nr. 1, S. 25/36.
- [46] *Gomes da Silva, J., G.E. Serra, J.R. Moreira, J.C. Concalves u. J. Goldemberg*: Energy balance for ethyl alcohol production from crops. Science Bd. 201 (1978) 8. Sept., S. 903/906.
- [47] *Houben, H.*: Motortreibstoff (Ethanol) aus Ein- und Zweijahrespflanzen wie Zuckerrüben, Manioka, Zuckerrohr. Zuckerindustrie Bd. 105 (1980) Nr. 1, S. 37/44.

Möglichkeiten zur Minderung des Schlepperlärms durch Anwendung von Schallschutzkapseln

Von Rolf Bacher, München*)

DK 631.372:331.827:534.83

Maßnahmen zur Minderung des Lärms an Ackerschleppern haben, insbesondere durch die berufsgenossenschaftlichen Vorschriften, zunehmend an Bedeutung gewonnen. Als Alternative zu den schallisolierten Schlepperkabinen werden die Möglichkeiten zur Anwendung von Motorkapseln untersucht. Sofern der Schleppermotor in einem Halbrahmen elastisch gelagert wird, lassen sich sowohl mit motornahen als auch mit motorfernen Kapselungen auch ohne Kabine oder mit Wetterschutzverdeck Pegelwerte am Fahrerohr erreichen, die denen von schallisolierten Plattformkabinen vergleichbar sind.

1. Einleitung — Stand der Technik

Nach den "Besonderen Grundsätzen für die Beurteilung des Lärms am Ohr des Führers von Ackerschleppern und selbstfahrenden Mähdreschern" des Bundesverbandes der landwirtschaftlichen Berufsge-

nossenschaften (BLB) vom 20.06.1974 sind die betreffenden Fahrzeuge darauf zu überprüfen, daß deren Fahrer einem Lärmpegel von höchstens 90 dB(A) ausgesetzt werden [1].

Über eine stufenweise Verschärfung der Meßvorschriften wurde ein Entwicklungszeitraum von 7 Jahren zur Anpassung an diese Richtlinie zugestanden. Daß die Schlepperindustrie diese Zeitspanne zu nutzen wußte, zeigt die Tatsache, daß von 388 im April 1978 beim BLB registrierten Schleppertypen und -ausführungen bereits 40 % die Forderungen von 1981, d.h. nach einem Schalldruckpegel von höchstens 90 dB(A), entsprechend der Meßvorschrift des BLB [1], bei Nenndrehzahl, erfüllen. Allerdings sind in diesen 40 % aller Schlepper 90 % der Kabinenschlepper, 30 % der Schlepper mit Umsturzsicherungsrichtung und nur 20 % der Schlepper mit serienmäßig geschlossenem Aufbau sowie 11,4 % der Schlepper mit serienmäßig nicht geschlossenem Aufbau enthalten [2].

Vergleicht man die nach OECD-Bedingungen (d.h. unter Last) ermittelten Schalldruckpegel von Schleppern der Prüffahre 1973/74, 75/76 und 77/78, so zeigt sich, daß durch die Einführung von schallisolierten Plattformkabinen die Lärmbelastung des Schlepperfahrers stark gemindert werden konnte, Bild 1.

Die schalltechnisch sehr ungünstig konstruierten Kabinen sind 1977/78 bis auf eine einzige Ausnahme völlig verschwunden. Bei den ohne Kabine geprüften Schleppern jedoch ist keine deutliche Reduzierung des Lärmpegels zu beobachten [3, 4, 5].

*) Dipl.-Ing. R. Bacher ist Assistent am Institut für Landmaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Söhne) der Technischen Universität München.

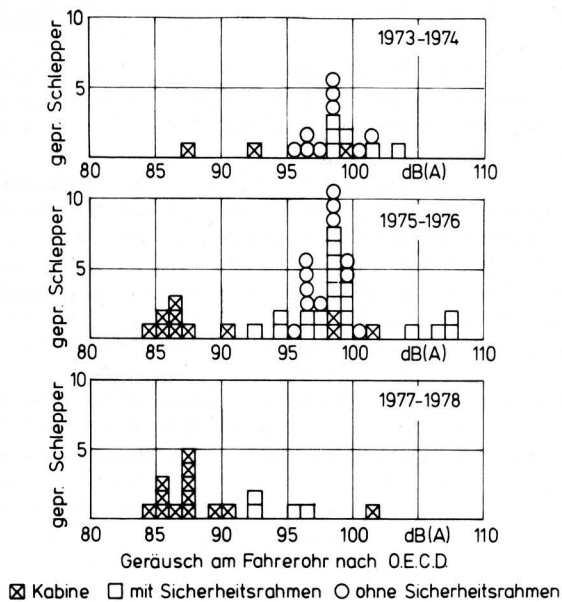


Bild 1. Häufigkeitsverteilung des Schalldruckpegels OECD-geprüfter Schlepper verschiedener Prüfjahre.

2. Primäre Maßnahmen zur Lärminderung

Die sogenannten primären Maßnahmen sollen die Entstehung von Geräuschen verhindern oder zumindest vermindern. Die Schwierigkeiten dabei sind hinreichend bekannt. Zwar lassen sich bei einigen Baugruppen am Ackerschlepper auch mit relativ geringen Mitteln deutliche Erfolge erzielen, so z.B. bei der Kühler-Lüfter-Gruppe oder der Hydraulikanlage. Bei den dominierenden Schallquellen Schleppermotor und Schleppergetriebe jedoch scheint bei vertretbarem finanziellem Aufwand nur ein sehr kleiner Spielraum gegeben zu sein.

Von der CIMAG-Arbeitsgruppe wurde eine Formel für die Abhängigkeit des in 1 m vom Motor gemessenen Schallpegels von der Drehzahl und der Leistung angegeben [6]. Die beiden Diagramme, Bild 2 sind nach dieser Formel jeweils für Nenndrehzahl berechnet.

Das linke Diagramm zeigt den Anstieg des Schallpegels mit zunehmender Motorleistung für Nenndrehzahlen von 2000 bis 3500 min⁻¹.

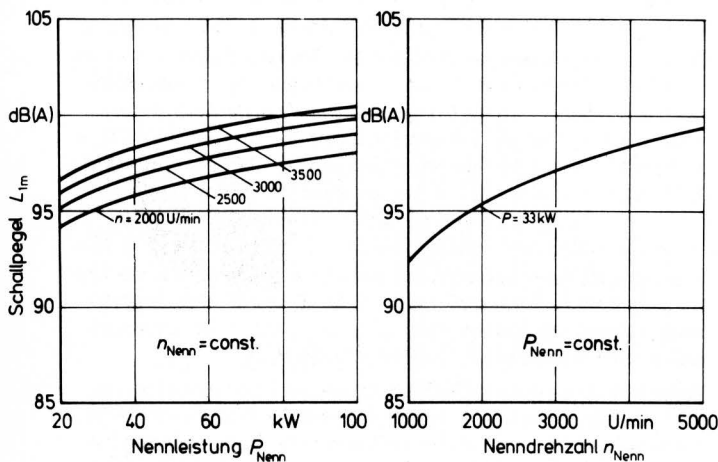


Bild 2. Schalldruckpegel von Dieselmotoren in 1 m Abstand in Abhängigkeit von Nennleistung und Nenndrehzahl, gerechnet nach der von der CIMAG-Arbeitsgruppe angegebenen Gl.:

$$L_{1m} = 54 + 10 \lg(n_{Nenn} \cdot P_{Nenn}^{0,55}) + 30 \lg(n/n_{Nenn}) \quad [\text{dB(A)}].$$

Es ergibt sich ein Anstieg des Schalldruckpegels von ca. 0,5-1 dB(A) pro 10 kW Motorleistung. Das rechte Diagramm zeigt den Anstieg des Schalldruckpegels mit zunehmender Nenndrehzahl bei konstanter Leistung. Hier ergibt sich im für Schleppermotoren interessanten Bereich ein Pegelanstieg von ca. 1-1,5 dB(A) pro 500 Umdrehungen/min. Da aber Schleppermotoren nicht sehr hoch drehen, dürfte die Möglichkeit einer Drehzahlabenkung zur Geräuschreduzierung, die im Automobilbau häufig diskutiert wird, bei Schleppern kaum anwendbar sein.

3. Grundlagen der Kapselung

Die zweite Möglichkeit der Lärminderung am Ackerschlepper, den sogenannten sekundären Schallschutz, stellt die Kapselung mit allen ihren Varianten dar.

Für eine Schallausbreitung aus Kapseln heraus oder in Kapseln hinein gibt es drei Übertragungswege [7]:

1. Ausbreitung über die Kapselwände,
2. Ausbreitung über Undichtigkeiten und unvermeidbare Öffnungen (z.B. Kühlluftein- und austritte),
3. Körperschallausbreitung und -abstrahlung als Luftschall außerhalb der Kapsel.

Der über die Kapselwände und über Undichtigkeiten übertragene Schall läßt sich rechnerisch recht gut abschätzen. Rechenverfahren finden sich in der einschlägigen Literatur und wurden auch in [8] beschrieben.

Bei der Auswahl von Kapselwerkstoffen sollte darauf geachtet werden, daß die Dämmungseinbrüche bei den Eigenfrequenzen sowie der Grenzfrequenz (bzw. der Koizidenzfrequenz bei schrägem Schalleinfall) der Kapselwand außerhalb des interessierenden Frequenzbereichs liegen. Diese Frequenzen können, ebenso wie der Verlauf des Schalldämm-Maßes zwischen bzw. über diesen Frequenzen, aus den Werkstoffdaten sowie den geometrischen Abmessungen berechnet werden.

Bei motornahen Kapseln wird man zumeist auf eine absorbierende Auskleidung der Kapselwände verzichten müssen. Insbesondere dann müssen die in der Kapsel vorhandenen Öffnungen genauso wie die Ansaug- und Abgasleitung mit Schalldämpfern versehen werden. Die exakte Auslegung von Schalldämpfern ist außerordentlich schwierig. Auch in der VDI-Richtlinie 2567 [9] wird empfohlen, überschlägige Berechnung und Experiment parallel durchzuführen.

Bei motorfernen Kapselungen, also z.B. bei als Kapsel ausgebildeten Schleppermotorhauben, ist eine schallabsorbierende Auskleidung der Kapsel vorteilhaft, da dann auch größere unbedämpfte Öffnungen vertretbar sind (z.B. eine unten offene Kapsel). Als Absorptionsmaterialien kommen für Kapseln an Schleppermotoren offenporige Schäume, Mineralfaservlies sowie einige Spezialprodukte in Frage.

Eine gute Absorptionseffektivität ergibt sich erst dann, wenn die Absorptionsschichtdicke im Bereich von 1/4 der Schallwellenlänge liegt, da ja nur dort die Luftmoleküle eine große Schwinggeschwindigkeit haben, die durch Reibung gedämpft werden kann, Bild 3. Die Werteliste zeigt aber, daß sich erst ab Frequenzen über 1000 Hz realistische Absorptionsschichtdicken ergeben. Sofern faserige Absorbermaterialien verwendet werden sollen, ist am Schlepper eine Abdeckung günstig. Diese bringt dann keine Verschlechterung, wenn der Lochflächenanteil > 15 %, die effektive Lochtiefe $l_e = 1 + 1,6 r < \lambda/4$, der Lochabstand $< \lambda/2$ und bei Folienabdeckung des Absorbermaterials der Massenwiderstand der Folie ωM kleiner als der Wellenwiderstand der Luft $\rho \cdot c$ ist. Handelsübliche Lochbleche haben zumeist einen Lochflächenanteil größer 30-35 % und erfüllen die angegebenen Bedingungen [10]. Eine 50 µm starke Kunststoffolie kann bis ca. 1500 Hz als schalldurchlässig angesehen werden. Bei höheren Frequenzen nimmt die Schalldurchlässigkeit und damit auch die Wirkung des Absorbers langsam ab.

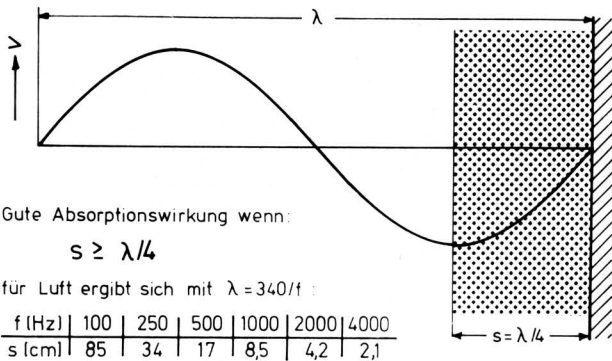


Bild 3. Absorptionsschichtdicken für poröse Schallabsorber.

Als Beispiel für ein günstiges Absorbermaterial zeigt Bild 4 den Verlauf des Absorptionsgrades von Polyurethanschaum in Abhängigkeit von der Frequenz. Für eine Schichtdicke von etwa 5 cm ergibt sich schon eine gute Absorptionswirkung. Diese Schäume sind für den Einsatz am Schlepper günstiger als faserige Absorbermaterialien, da sie durch mechanische Einwirkungen nicht so leicht zerstört werden können. Allerdings ist die Temperaturbeständigkeit nicht so hoch wie bei Mineralfasern (Motorkapseln).

Als Grenzfall der Kapselung können die Schallschirme angesehen werden. Im direkten Schallfeld lassen sie sich mit recht gutem Erfolg anwenden. Wegen Beugungserscheinungen setzt ihre Wirkung jedoch erst dann ein, wenn die Schallwellenlänge kleiner als die kleinste Schirmabmessung ist. Je nach Schirmgröße und Frequenzzusammensetzung lassen sich Pegelminderungen von ca. 5-10 dB(A) erreichen.

Voraussetzung für eine erfolgreiche Kapselung ist aber in jedem Fall, daß die Schallausbreitung nach Weg 3, d.h. also die Körperschallausbreitung, nicht dominiert oder daß sie durch entsprechende Maßnahmen ausgeschaltet oder vermindert wird.

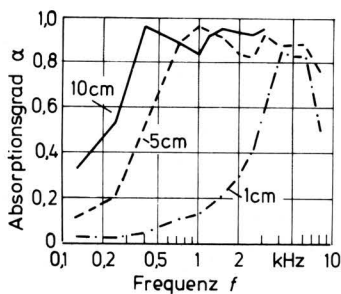


Bild 4. Absorptionsgrad von Polyurethanschaum (Dichte: $\rho = 33 \text{ kg/m}^3$, längenbezogene Strömungsresistenz: $\Xi = 12 \text{ kNs/m}^4 \cong 12 \text{ Rayl/cm}$).

4. Schlepperkabinen

Bei den schallisolierten Plattformkabinen geschieht dies dadurch, daß die gesamte Kabine gegenüber dem Schlepperrumpf mit elastischen Gummilagern körperschallisoliert wird. Alle in die Kabine hineinragenden Übertragungs- oder Betätigungselemente sollten ebenfalls entweder körperschallisoliert werden oder zumindest eine sehr kleine schallabstrahlende Fläche haben. Bei Schlepperkabinen, bei denen diese Bedingungen eingehalten werden, lassen sich Pegelminderungen von ca. 15 dB(A) erreichen. Diese Pegelminderung ist ausreichend, um einen Schutz des Fahrers vor Lärmschäden zu gewährleisten. Ob solche Kabinen aber langfri-

stig als beste und billigste Lösung angesehen werden können, scheint noch nicht erwiesen, da sie neben vielen Vorteilen, wie z.B. Komfort, Heizung, Staubschutz, Schutz vor Lärm von Anbaugeräten, doch auch einige Nachteile, wie z.B. hohen Preis, Notwendigkeit von Klimaanlage, fehlenden Lärmschutz für die Umwelt usw., mit sich bringen.

Immer wieder wird auch die Frage diskutiert, ob eine Schlepperkabine die Sicherheit dadurch beeinträchtigt, daß der Schlepperfahrer durch Warnrufe nicht mehr zu erreichen ist. Die eine Theorie geht davon aus, daß für die Wahrnehmung eines Geräusches, also z.B. eines Zurufs, nicht dessen absolute Lautstärke maßgebend ist, sondern der Abstand vom Umgebungsgeräusch. Nach Untersuchungen von Talamo (N.I.A.E.) [11] dagegen ist die Wahrscheinlichkeit, einen Warnruf zu hören, bei einem Schlepper ohne Kabine trotz des hohen Grundschallpegels von 92 dB(A) erheblich höher als bei einem Schlepper mit Schallschutzkabine, bei dem am Fahrerohr nur 79 dB(A) herrschen. Am geringsten ist die Wahrscheinlichkeit bei dem Schlepper mit ungünstiger Kabine, bei dem am Fahrerohr ein Grundschallpegel von 97-98 dB(A) vorhanden ist, Bild 5.

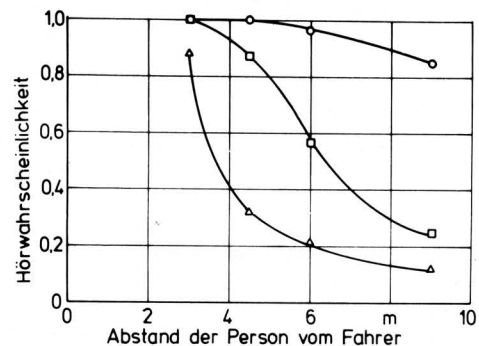


Bild 5. Wahrscheinlichkeit, den Warnruf einer männlichen Person zu hören (nach Talamo N.I.A.E.) [11].

- ohne Kabine $L_{FO} = 92 \text{ dB(A)}$
- Schallschutzkabine $L_{FO} = 79 \text{ dB(A)}$
- △ schlechte Kabine $L_{FO} = 97-98 \text{ dB(A)}$

5. Kapselung bei Blockbauweise

Die zweite Variante der Kapselung sind die Motorkapseln bzw. die Kapseln an ganzen Aggregaten. Die Hauptschwierigkeit bei der Motorkapselung am Ackerschlepper liegt in der durch die Blockbauweise bedingten Körperschallausbreitung. Ob nun eine Kapselung bei der Blockbauweise sinnvoll ist, hängt von der Zusammensetzung des Geräusches am Fahrerohr ab. Überwiegt bei einem Schlepper der Luftschallanteil stark, so kann eine Kapselung sinnvoll sein. Liegt der durch Körperschallübertragung angeregte Luftschallpegel dagegen nur wenig unter dem direkten Motorluftschallpegel, so wird eine Kapselung keinen Erfolg bringen.

Bild 6 zeigt diesen Unterschied in der Geräuschzusammensetzung für zwei Schlepper in Blockbauweise mit Wetterschutzverdeck. Während beim Schlepper A das Schließen der Frontscheibe nur eine Pegelminderung von ca. 1,3 dB(A) bringt, mindert sich der Schallpegel beim Schlepper B um 3,7 dB(A). Dieser Unterschied in der Pegelminderung bei praktisch gleichwertigem Wetterschutzverdeck läßt sich damit erklären, daß bei Schlepper A der Körperschallanteil erheblich mehr zum Gesamtgeräusch beiträgt, als bei Schlepper B. Bei Schlepper B müßte mit einer Motorkapselung eine doch merkliche Pegelminderung zu erreichen sein.

Sollen durch eine Motorkapselung jedoch stärkere Pegelminderungen erreicht werden, so muß der Körperschallanteil ausgeschaltet oder zumindest stark reduziert werden. Dies kann entweder durch

Entziehen von Schwingungsenergie aus der Schlepperstruktur erfolgen, oder aber durch eine Körperschallisolierung. Eine so starke Dämpfung, z.B. der Kupplungsglocke, daß eine Weiterleitung von Körperschall vermieden wird, dürfte auch mit Hilfe von Schwingungsabsorbern schwerlich möglich sein. Soll der gesamte Schlepperrumpf gegen den Motor Körperschallisoliert werden, so muß dieser elastisch gelagert werden. Das führt von der Blockbauweise weg zum Konzept der Halbrahmenbauweise oder Rahmenbauweise.

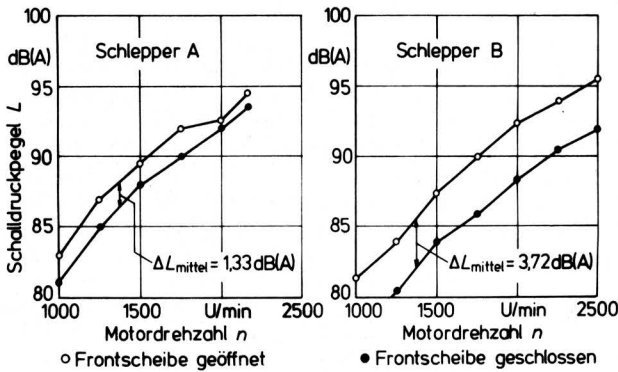


Bild 6. Lärmschutzwirkung des Wetterschutzverdecks, dargestellt durch den Schalldruckpegel am Fahrerohr in Abhängigkeit von der Motordrehzahl, für zwei Schlepper in Blockbauweise.

6. Beitrag des Körperschalls zum Luftschall am Fahrerohr

Bei der Rahmen- oder Halbrahmenbauweise kann der Schleppermotor elastisch gelagert und damit der vom Motor verursachte Körperschallanteil praktisch vollkommen ausgeschaltet werden. In **Bild 7** ist der durch Körperschall erzeugte Luftschall, der Motorschall sowie der Gesamtschall am Fahrerohr über der Eigenfrequenz der Motorlagerung für einen Schlepper in Halbrahmenbauweise aufgetragen. Es zeigt sich, daß eine sehr weiche Motorlagerung gewählt werden muß, wenn keine Beeinflussung des Gesamtgeräusches durch den Körperschallanteil mehr erfolgen soll. Eine unterkritische Motorlagerung mit hoher Eigenfrequenz scheidet also aus akustischen Gründen aus. Um zudem den Resonanzbereich zu meiden, muß die Eigenfrequenz der Motorlagerung unter die Leerlaufdrehzahl des Motors gelegt werden.

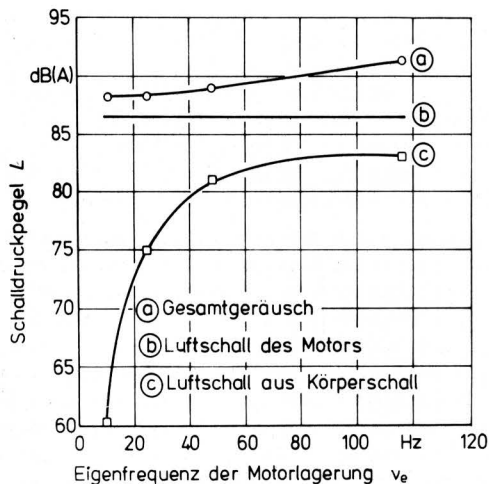


Bild 7. Schalldruckpegel am Fahrerohr als Funktion der Eigenfrequenz der Motorlagerung.

7. Schlepperkonzepte in Halbrahmenbauweise

Während die Rahmenbauweise eine Neukonzeption der Schlepper erfordert, kann eine Halbrahmenbauweise, ausgehend von einem Basisschlepper in Blockbauweise, relativ einfach verwirklicht werden. Einige der dabei denkbaren Lösungen zeigt **Bild 8**.

Bei Variante A wird eine motornahe Kapselung angewandt. Die Kapsel kann als Bestandteil des Motors angesehen werden. Sie liegt sehr eng am Motor an und beansprucht deshalb wenig Raum. Auf eine absorbierende Auskleidung innerhalb der Kapsel kann verzichtet werden, da die Kapsel vollkommen geschlossen ist und die Be- und Entlüftungsöffnungen mit ausreichenden Schalldämpferstrecken versehen sind. Diese Art der Kapselung kann praktisch nur bei Motorneukonstruktionen angewendet werden, bei denen die Erfordernisse der Kapselung gleich bei der Motorkonstruktion berücksichtigt werden können. Solche gekapselten Motoren befinden sich auf dem Markt und werden insbesondere bei Baumaschinen eingesetzt. Die Motorhaube kann entfallen, da der Motor bereits durch die Kapselung ausreichend geschützt ist.

Soll die Motorhaube z.B. aus Styling-Gründen beibehalten werden, so kann diese als zweite Kapselung ausgeführt werden, wie dies bei Variante B angedeutet wurde.

Bei Variante C wird ein konventioneller Schleppermotor elastisch gelagert, und die Schleppermotorhaube wird als Kapselung ausgebildet. Wie sich bei Versuchen zeigte, lassen sich ausreichende Pegelminderungen auch bei unten geöffneter Kapsel erreichen, sofern in der Kapsel eine absorbierende Auskleidung angebracht wird. Eine ausreichende Motorkühlung ist so erheblich leichter zu gewährleisten.

Bei Variante D schließlich wird der Halbrahmen wannenförmig ausgebildet und dient zugleich als Ölwanne und untere Kapselhälfte. Der Motor schrumpft zum Skelettmotor, aus nur noch den kraftführenden Teilen bestehend, zusammen. Die Motorkühlung dürfte so kaum Schwierigkeiten bereiten. Auch aus Kostengründen müßte diese der Blockbauweise ähnelnde Lösung recht interessant sein.

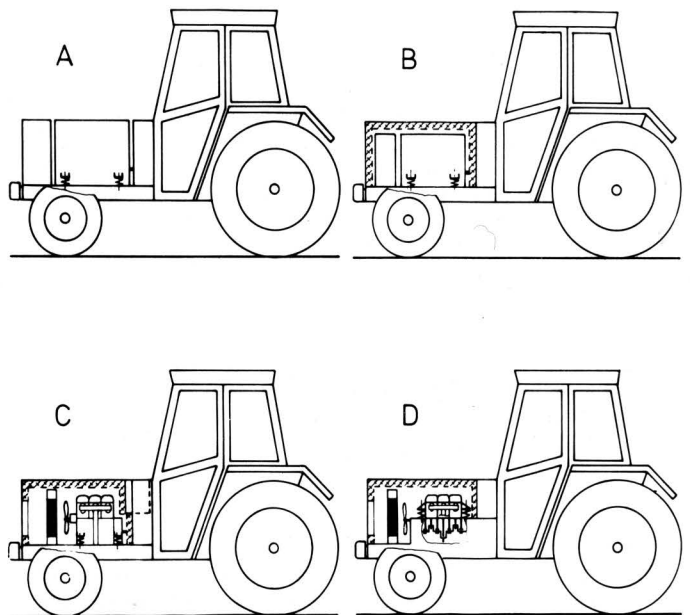


Bild 8. Konzeptionen für Schlepper in Halbrahmenbauweise mit gekapseltem Motor und elastischer Motorlagerung.

- A Motornahe Kapselung
- B Motornahe Kapselung und zusätzlich Motorhaube als Kapsel ausgebildet
- C Motorferne Kapselung
- D Motorferne Kapselung und Skelettmotor

8. Versuchsergebnisse

Im Rahmen eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projektes wurden die vorgeschlagenen Varianten A, B und C untersucht. Von den Varianten A und C wurden jeweils zwei Ausführungen gebaut (Varianten A1, A2, B, C1, C2). Im folgenden wird über einige der mit diesen Varianten gewonnenen Versuchsergebnisse berichtet.

8.1 Getriebegeräusche

Wird das Motorgeräusch eines Schleppers, z.B. durch eine elastische Motorlagerung und Kapselung, deutlich gemindert, so treten die Getriebegeräusche bei der Fahrt unter Last (OECD) deutlich im Frequenzbereich zwischen 0,8 und 2 kHz hervor. **Bild 9** zeigt dies beim Vergleich der Frequenzspektren zwischen "Stand" und "Fahrt unter Last" für den Versuchsschlepper der Bauvariante A2.

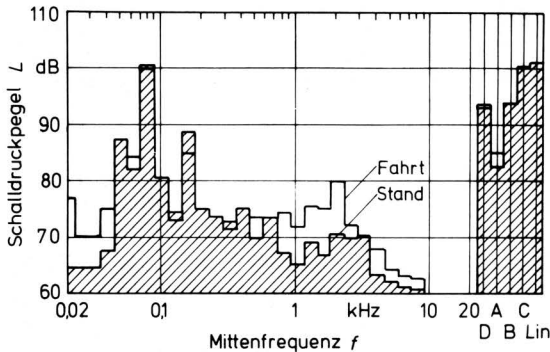


Bild 9. Schalldruckpegel am Fahrerohr bei Fahrt und im Stand, zur Darstellung des Einflusses der Getriebegeräusche; Schleppervariante A2.

8.2 Verdeck

Bei allen Versuchen wurde das serienmäßig hinten offene Wetter-schutzverdeck verwendet. Bei der Blockbauweise und beim Einbau des gekapselten Motors mit einer harten Gummilagerung (Halbrahmenbauweise Variante A1) ergab sich keine Verbesserung beim Schließen der Frontscheibe. Bei der weichen Motorlagerung der Variante A2 dagegen hat der Wetterschutz eine deutliche Lärm-schutzwirkung, **Bild 10**.

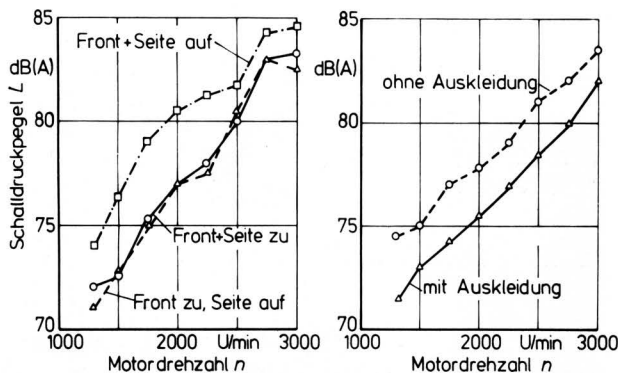


Bild 10. Schalldruckpegel am Fahrerohr in Abhängigkeit von der Motordrehzahl bei unterschiedlichem Zustand des Wetterschutzverdecks; Schleppervariante A2.

Das linke Diagramm zeigt, daß beim Schließen der Frontscheibe eine Pegelminderung von ca. 2-4 dB(A) erreicht werden kann. Entscheidend ist hierbei allein das Schließen der Frontscheibe. Die Seitenscheiben dürfen geöffnet werden, ohne daß sich eine Erhöhung des Schalldruckpegels ergibt. Im rechten Diagramm wird die Wirkung einer absorbierenden Kabinenauskleidung dargestellt. Mit ihr läßt sich bei diesem Schlepper eine Pegelminderung von ca. 2,5 dB(A) erreichen.

8.3 Hydraulik

Das Geräusch der Hydraulikanlage steigt mit zunehmender Motor- bzw. Pumpendrehzahl stärker an als das im Stand hauptsächlich vom Motorgeräusch bestimmte Gesamtgeräusch des Schleppers, **Bild 11**. Da das Hydraulikgeräusch erst dominiert, wenn der Schlepperlärm in den Bereich von 80 dB(A) abgesenkt wird, werden Lärm-minderungsmaßnahmen an der Hydraulik erst dann vor-dringlich. Allerdings war bei dem Versuchsschlepper die Hydraulik-pumpe in die Motorkapsel integriert. Wegen der elastischen Lage-rung des Motors mußten kurze Schlauchzwischenstücke verwendet werden, ehe die Leitungen mit Rohren weitergeführt werden konnten. Mit den Schläuchen wurde eine direkte Körperschallüber-tragung vermieden. Bei starrer Verlegung der Leitungen und ohne Kapselung der Hydraulikpumpe kann das Geräusch der Hydraulik stärker zum Gesamtgeräusch des Schleppers beitragen.

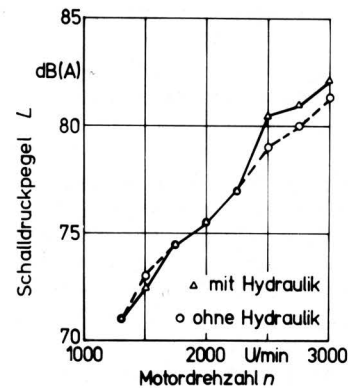


Bild 11. Schalldruckpegel am Fahrerohr als Funktion der Motor-drehzahl mit und ohne Hydraulik; Schleppervariante A2.

8.4 Doppelkapselung

Ausgehend von der Variante A2 mit gekapseltem Motor, wurde ver-sucht, über eine zusätzliche als Halbkapsel ausgebildete Motorhaube eine weitere Pegelminderung zu erreichen (Variante B). Bei ungekapseltem Motor ließ sich mit dieser ausgekleideten Motorhaube bei Halbrahmenbauweise eine deutliche Pegelminderung von immerhin 9 dB(A) erreichen, **Tafel 1**. Bei gekapseltem Motor dage-gen reduziert sich die erreichbare Pegelminderung bei geöffneter Frontscheibe auf 2 dB(A). Der Anteil aus Körperschall und Getrie-begeräusch betrug jedoch nur 78 dB(A), kann also für die geringe Absenkung nicht entscheidend sein.

Das Ergebnis kann mit einer Frequenzanalyse erklärt werden, **Bild 12**. Bereits beim ungekapselten Motor (oben) dämpft die Haube nur die höheren Frequenzen. In den niedrigen Frequenzen wird der Schalldruckpegel wohl durch Eigenschwingungen der nicht sehr gut entdröhnten Haube sogar vergrößert. Die Kurve der A-Bewertung läßt jedoch erkennen, daß hier für den A-Schallpegel die höheren Frequenzen maßgebend sind. Beim zusätzlich gekap-selten Motor (**Bild 12** unten) zeigt die Kurve der A-Bewertung, daß bereits ohne Motorhaube die Oktave um 63 Hz dominiert. Die mit der Motorhaube erzielte Absenkung im höher frequen-ten Bereich wirkt sich auf den A-bewerteten Schalldruckpegel kaum

noch aus. Wollte man hier eine stärkere Absenkung erreichen, so müßten wohl andere Kapselwerkstoffe verwendet werden, um auch die niedrigen Frequenzen bedämpfen zu können. Da dies für den Einsatz am Ackerschlepper nicht realistisch sein dürfte, muß die Variante B wohl als ungünstig angesehen werden.

Motor ungekapselt ohne Haube	99 dB(A)	} 9 dB(A)
Motor ungekapselt mit Haube	90 dB(A)	
Motor gekapselt ohne Haube	89 dB(A)	} 2 dB(A)
Motor gekapselt mit Haube	87 dB(A)	
Anteil Körperschall+Getriebe 78 dB(A)		
Messung in der Halle, Frontscheibe geöffnet		

Tafel 1. Wirkung einer als Schallschutzkapsel ausgebildeten Motorhaube.

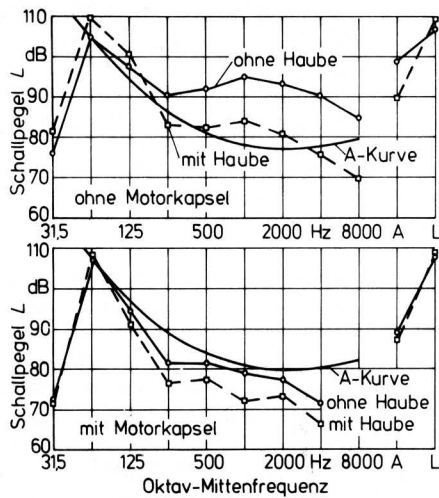


Bild 12. Frequenzanalyse des Schalldruckpegels für einen Schlepper ohne Motorkapsel (oben) und mit Motorkapsel (unten) jeweils für die Zustände mit und ohne eine als Schallschutzkapsel ausgebildete Motorhaube; Schleppervariante B.

8.5 Drehzahl, Zugkraft

Bild 13 zeigt am Beispiel des Versuchsschleppers der Variante C1, d.h. mit motorferner, unten geöffneter Kapsel mit elastischer Lagerung ($\nu_e < 10$ Hz) den Einfluß einer Drehzahlerhöhung sowie den einer Steigerung der Zugkraft auf den Lärm am Fahrerohr.

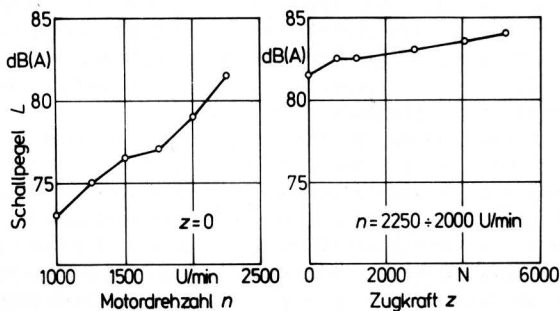


Bild 13. Schalldruckpegel am Fahrerohr in Abhängigkeit von Drehzahl und Zugkraft; Schleppervariante C1.

8.6 Getriebeabdeckung

Zur Minderung der bei Fahrt unter Last dominierenden Getriebegetöse wurde bei der Variante C2 zusätzlich eine Getriebeabdeckung als Schallschirm gegen die Getriebegetöse eingebaut. Bei Fahrt unter Last im Gang 5 S kann damit eine Pegelminderung von ca. 2,5 dB(A) erreicht werden, Bild 14. Trotz dieser deutlichen Pegelminderung ab ca. 0,4 kHz waren bei dem Versuch die Getriebegetöse noch zu hören. Eine Verbesserung der Abdeckung läßt eine nochmalige Pegelminderung erwarten.

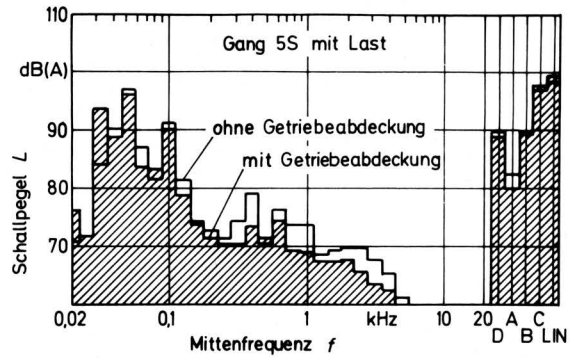


Bild 14. Schalldruckpegel am Fahrerohr bei Fahrt unter Last mit und ohne Getriebeabdeckung; Schleppervariante C2.

9. Anwendung von Schallschutzmaßnahmen an einem Schlepper in Halbrahmenbauweise

Am Beispiel des Versuchsschleppers nach Variante C, Bild 15, d.h. mit konventionellem Schleppermotor, elastischer Lagerung im Halbrahmen und als motorferne Kapsel ausgebildeter Motorhaube, sollen die durchgeführten Maßnahmen und ihre akustischen Auswirkungen jeweils für geöffnete und geschlossene Frontscheibe dargestellt werden, Bild 16.

Bei geöffneter Frontscheibe konnte eine Pegelminderung um ca. 14 dB(A) erreicht werden, bei geschlossener Kabine eine um ca. 8,5 dB(A). Der Anstieg des Schalldruckpegels bei geschlossener Frontscheibe für den Bauzustand 2 ist dadurch zu erklären, daß die Kapsel keinen Boden hatte. Da die Kapsel eine Schallabstrahlung nach oben und nach den Seiten verhindert, wird der gesamte Luftschall nach unten auf den Boden geworfen und von der Fahrbahn durch die offene Bodenplatte der Schlepperkabine in die Kabine hinein reflektiert. Interessant ist auch, daß durch das Entdröhnen des Kapselbleches im Bauzustand 6 keine Verminderung des Lärmpegels erreicht werden konnte. Im Stand tritt die Wirkung der Getriebeabdeckung bei der Variante C2, hier Bauzustand 9, natürlich nicht so deutlich hervor wie bei Fahrt unter Last.



Bild 15. Versuchsschlepper in Halbrahmenbauweise mit motorferner Kapselung; Schleppervariante C.

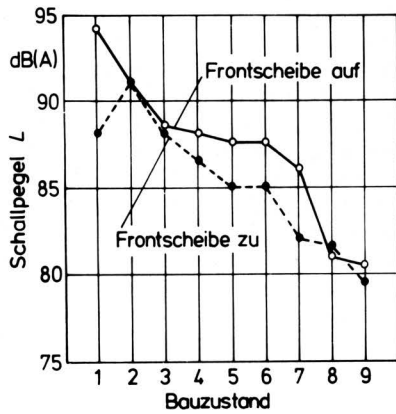


Bild 16. Schalldruckpegel in Abhängigkeit von verschiedenen Maßnahmen zur Lärminderung an einem Schlepper in Halbrahmenbauweise; Schleppervariante C im Stand ohne Last.

Bauzustände:

- | | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 1 ohne Kapsel | 6 Kapsel entdröhnt |
| 2 Kapsel ohne Auskleidung | 7 Verdeck ausgekleidet |
| 3 mit Kühlluftschalldämpfer | 8 Abgasschalldämpfer geändert |
| 4 Kapsel ausgekleidet | 9 mit Getriebeabdeckung |
| 5 Tank entdröhnt | |

10. Zusammenfassung: Vergleich der Lärmpegel der verschiedenen Schlepperkonzepte bzw. Bauvarianten

Bei den Versuchen konnte bewiesen werden, daß sich mit gekapselten Schleppermotoren Pegelwerte am Fahrerohr erreichen lassen, die denen von Schleppern mit Plattformkabine vergleichbar sind, **Bild 17**.

Bezüglich des Außengeräusches schneiden die Schlepper mit gekapseltem Motor natürlich vergleichsweise günstig ab. Die OECD-Prüfberichte weisen für die beschleunigte Vorbeifahrt der Schlepper Werte für den Schalldruckpegel zwischen 83 und 92 dB(A), in 7,5 m Abstand gemessen, aus. Der Mittelwert der Schlepper liegt bei 87,7 dB(A). Dabei ergeben sich keine Unterschiede zwischen Schleppern mit und ohne Plattformkabine. Eine Kapselung des

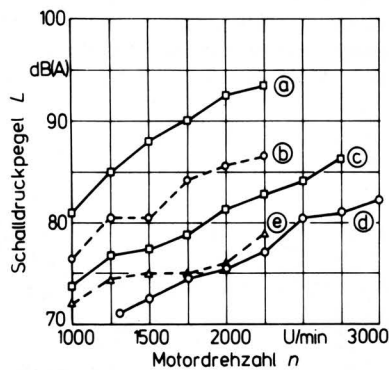


Bild 17. Schalldruckpegel am Fahrerohr für verschiedene Schlepperkonzeptionen, gemessen im Stand, Verdeck geschlossen, ohne Last.

- Beispiel für Blockbauweise mit Wetterschutzverdeck
- Halbrahmenbauweise, Kapsel unten offen, mit Wetterschutzverdeck
- Beispiel für Blockbauweise mit geschlossener Kabine
- Halbrahmenbauweise, geschlossene Motorkapsel, Wetterschutzverdeck mit absorbierender Auskleidung
- Halbrahmenbauweise, Kapsel unten offen, mit Wetterschutzverdeck, verbesserte Ausführung

Motors dagegen wirkt sich auch auf das Geräusch in der Umgebung des Schleppers aus. So ergibt sich für die Schleppervariante C in der beschleunigten Vorbeifahrt, in 7 m Abstand gemessen, ein Lärmpegel von 71,5 bis 72 dB(A).

In **Tafel 2** sind die wichtigsten Meßwerte für unseren Versuchsschlepper in Blockbauweise sowie für die fünf Varianten A1 bis C2 zusammengestellt. Die Meßwerte für den Schlepper in Blockbauweise liegen relativ hoch. Der heute in Serie befindliche Schlepper gleichen Typs ist mit einem anderen Motor ausgerüstet und weist erheblich günstigere Werte auf. Die Variante A1 war mit einer relativ harten Gummilagerung ausgerüstet, und zusätzlich war eine Turbokupplung ohne Dämpferstrecken eingebaut. Mit ihr konnte keine Verbesserung des Lärmpegels erreicht werden. Bei der Variante A2 mit gekapseltem Motor wurde auf die Anwendung der Turbokupplung verzichtet, der Motor war mit einer Eigenfrequenz von ca. 15 Hz gelagert. Auf diesem Wege war eine deutliche Pegelminderung gegenüber der Variante A1 zu erreichen. Da jedoch noch keine Getriebeabdeckung eingebaut war, konnte, besonders bei Fahrt unter Last, keine weitere Pegelabsenkung erreicht werden. Die Variante B mit zusätzlich als Kapsel ausgebildeter Motorhaube wurde nicht nach OECD-Bedingungen getestet, da keine Veränderung gegenüber der Variante A2 zu erwarten war. Bei der Variante C1 wurde ein konventioneller Schleppermotor verwendet. Die Motorhaube ist als Schallschutzkapsel ausgebildet. Bei der Variante C2 schließlich wurde zusätzlich eine Getriebeabdeckung als Schallschirm eingebaut. Eine nochmalige Pegelminderung um ca. 1–2 dB(A) ist möglich, sofern die Kapsel unten geschlossen wird. Allerdings muß dann eine ausreichende Motorkühlung durch geeignete Maßnahmen garantiert werden.

Mit den sicher noch zu verbessernden Varianten A2 sowie C1 und C2 läßt sich doch nachweisen, daß der Lärm eines Schleppers in Halbrahmenbauweise mit gekapseltem Motor gegenüber konventionellen Schleppern in Blockbauweise auch ohne Kabine nachhaltig reduziert werden kann, wenn die beschriebenen Randbedingungen eingehalten werden. Ob sich die Halbrahmenbauweise mit gekapseltem Motor langfristig als Alternative zu den schallisolierten Plattformkabinen anbietet, wird von einer genauen Kostenrechnung, den gesetzlichen Vorschriften und nicht zuletzt von den Wünschen der Landwirte abhängen.

Bauvariante	Normgang OECD	Lautester Gang OECD	Stand
Block	96	100	93,5
A1	97	98	94
A2	87,5	—	82
B	—	—	~82
C1	85,5	87,5	79,5
C2	82	84,5	79

Tafel 2. Vergleich der Schalldruckpegel am Fahrerohr in dB(A) der unterschiedlichen Bauvarianten.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet.

- [1] Richtlinien zur Lärminderung am Arbeitsplatz in der Land- und Forstwirtschaft, vom 20.6.1974, und Besondere Grundsätze für die Beurteilung des Lärms am Ohr des Führers von Ackerschleppern und selbstfahrenden Mähdreschern, vom 20.6.1974. Kassel: Bundesverband der Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften 1974.

- [2] 90 dB(A) und weniger, Ackerschlepper und Mährescher, registriert beim Bundesverband der Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften Kassel, 12.4.1978.
- [3] *Söhne, W. u. R. Bacher*: Ackerschlepper 1978. ATZ Automobiltechnische Z. Bd. 80 (1978) Nr. 10, S. 479/89.
- [4] Ackerschlepper mit OECD-Test. 3. Aufl. Frankfurt: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft 1978.
- [5] Berichte über technische Untersuchungen nach dem OECD-Standard-Code. Frankfurt: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft.
- [6] *Heckl, M. u. H.A. Müller*: Taschenbuch der Technischen Akustik. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1975.
- [7] **Autorenkollektiv**: Lärmbekämpfung. Berlin: Verlag Tribüne, 1974.
- [8] *Bacher, R. u. W. Söhne*: Schallschutzkapseln an Ackerschleppern. Landtechnik Bd. 33 (1978) Nr. 11, S. 482/87.
- [9] VDI 2567: Schallschutz durch Schalldämpfer. Aug. Sept. 1971. Berlin und Köln: Beuth Verlag 1971.
- [10] *Kurtze, G.; H. Schmidt u. W. Westphal*: Physik und Technik der Lärmbekämpfung. Karlsruhe: Verlag G. Braun 1975.
- [11] *Talamo, J.D.C.*: Hearing in tractor cabs. Departmental Note no. DN/E/595/1431 National Institute of Agricultural Engineering, Wrest Park, Silsoe.

Notizen aus Forschung, Lehre, Industrie und Wirtschaft

Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Knolle 80 Jahre

Man schrieb den 11. Mai 1925 als der Ingenieur-Assistent *Wilhelm Knolle* auf einem Schiff mit dem stolzen Namen "Werra" seine erste Äquator-Taufe erhielt. 25 Jahre später sollte der Name "Werra" erneut im Leben von *Wilhelm Knolle* eine Rolle spielen. 1950 nämlich siedelte die von ihm gegründete Firma Saat- und Erntetechnik GmbH von Wöltingerode nach Eschwege an der Werra um. Aus dem jungen Ingenieur-Assistenten von einst war inzwischen ein anerkannter Wissenschaftler geworden.

Am 20. März 1900 in Amsterdam geboren, wandte sich *Wilhelm Knolle* an der Universität Delft dem Studium der Ingenieurwissenschaft mit Schwerpunkt Schiffsbau zu. Nach weiteren Semestern in Berlin-Charlottenburg und Hannover kam er 1926 als Diplom-Ingenieur nach Bonn an das Institut für Landtechnik. Dort begegnete der junge Wissenschaftler Prof. *Vormfelde*, den *Wilhelm Knolle* noch heute als sein großes Vorbild verehrt. Fortan sollte landwirtschaftlich geprägte Ingenieurtechnik den weiteren Lebensweg von *Wilhelm Knolle* entscheidend prägen: Versuchsleiter und bald darauf Chefkonstrukteur der Abteilung Landmaschinen der Heinrich Lanz AG, Mannheim, Entwicklungsingenieur bei Hermann Raussendorf, Singwitz-Bautzen, zwischendurch Promotion an der TH Hannover und schließlich 1937 Berufung zum Ordinarius auf den Lehrstuhl Landtechnik der Universität Halle-Wittenberg.

Die nahegelegene Magdeburger Börde mit ihrem ausgeprägten Rübenanbau und der Dialog mit großen Kollegen, wie *Theodor Roemer* und *Emil Woermann*, begleiteten in Halle eine Periode, in welcher der richtungweisende Grundstein für wirtschaftlichen Zuckerrübenanbau in Deutschland und über die Grenzen Deutschlands hinaus bis in die heutige Zeit gelegt wurde. Aus dem von Prof. Dr.-Ing. *Wilhelm Knolle* in Halle geschaffenen, mechanisch erzeugten einkeimigen Rübensamen entstand der immer hochwertigere Monogermesamen (heute Präzisionsaatgut) für Zuckerrüben, Futterrüben und Rote Rüben. Seine Gleichstandsdrille wurde Vorläufer für spätere Einzelkorn-Säverfahren.

Prof. Dr.-Ing. *Wilhelm Knolle*, der nach Ende des zweiten Weltkrieges zunächst auf dem Kloostergut in Wöltingerode sein Lebenswerk fortsetzte und 1948 mit der Saat- und Erntetechnik GmbH ein Unternehmen schuf, das die Spaltung des multigermen Rübensaatgutes industriemäßig in Angriff nahm, trat kurz darauf bis 1956 in den Vorstand der Heinrich Lanz AG ein, war ab 1957 als Industrieberater sowie freier Forscher tätig und leitete von 1964 bis 1976 sein eigenes Institut für technologische Forschung (ITF) in Eschwege. In diese Zeitspannen fielen grundlegende Arbeiten, die z.B. zum Präzisions-Einzelkorn-Sägerät Unicorn führten oder der Entwicklung neuartiger, mehrreihiger Rübenrode-Maschinen wichtige Impulse gaben.

Der Jubilar, der in Würdigung seiner bahnbrechenden Arbeiten unter anderem 1958 von der Universität Bonn die Ehrendoktorwürde verliehen bekam, ist trotz seines hohen Alters und dank seiner körperlich und geistigen Frische nach wie vor erfinderisch tätig. Erst im vergangenen Jahr stellte er mit "Tip-Tap" ein neuartiges Zuckerrüben-Drillgerät vor. Wir wünschen Prof. Dr.-Ing. *Wilhelm Knolle*, daß ihm diese ungebrochene Schaffenskraft noch lange in Gesundheit erhalten bleibt.

SUET

Umbenennung von FAL-Instituten

Der Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten hat im Hinblick auf die Erfordernisse einer zukunftsorientierten landwirtschaftlichen Forschung auf Vorschlag des Senats und des Kuratoriums der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig vier Institute umbenannt. Nach Angaben der FAL führen die betreffenden Institute künftig folgende Namen:

1. Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde
Leiter: Prof. Dr. *Dieter Sauerbeck*
(seither: Institut für Biochemie des Bodens)
2. Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Leiter: Prof. Dr. *Manfred Dambroth*
(seither: Institut für Pflanzenbau und Saatgutforschung)
3. Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung
Leiter: Prof. Dr. *Ernst Zimmer*
(seither: Institut für Grünlandwirtschaft, Futterbau und Futterkonservierung)
4. Institut für Technologie
Leiter: Prof. Dr.-Ing. *Wolfgang Baader*
(seither: Institut für Landmaschinenforschung)