

**Zeitschrift:** Der Traktor : schweizerische Zeitschrift für motorisiertes Landmaschinenwesen = Le tracteur : organe suisse pour le matériel de culture mécanique

**Herausgeber:** Schweizerischer Traktorverband

**Band:** 16 (1954)

**Heft:** 10

**Artikel:** Luft- und Wasserkühlung : im Wettbewerb bei Dieselmotoren für Ackerschlepper

**Autor:** Meyer, Helmut / Seifert, Arthur

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1048596>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 29.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Luft- und Wasserkühlung

## im Wettbewerb bei Dieselmotoren für Ackerschlepper

Von Helmut Meyer und Arthur Seifert, Institut für Schlepperforschung, Braunschweig-Völkenrode.

Die Vor- und Nachteile der Wasser- und Luftkühlung für Schlepper-Dieselmotoren beschäftigten die Schlepperhersteller, seitdem im Lastkraftwagenbau der erste luftgekühlte Dieselmotor eingeführt worden ist, und die Verbraucher, seitdem er im Schlepperbau seinen ersten Nachfolger gefunden hat. In der Fachwelt wird die Kühlungsart für Kraftfahrzeuge in den letzten Jahren lebhaft erörtert (1, 2, 3, 4). Die Diskussion hat unlängst auch auf den Schlepper-Dieselmotor übergegriffen (5). Im nachfolgenden soll versucht werden, die Argumente für und gegen jedes der beiden Kühlsysteme aus dem Fachschrifttum und aus den Werbeschriften zusammenzustellen und anschliessend einen Ueberblick über die derzeitigen Erkenntnisse zu geben, der zu einer objektiven Beurteilung des ganzen Fragenbereiches verhelfen kann. Allerdings ist die Vergleichsbasis zur Zeit etwas ungleich, da die wassergekühlten Motoren heute im Gegensatz zum Zustand vor 5 Jahren (6) mit Thermostaten ausgerüstet werden, jedoch nicht die luftgekühlten. Es wird deutlich werden, wie sehr die Kenntnisse, die auf fremden und eigenen Versuchen fussen, noch der Ergänzung durch weitere Versuche bedürfen.

## Argumente für und wider Wasser- und Luftkühlung

### Für die Wasserkühlung

mit thermostatischer Kühlwasserregelung werden von ihren Verfechtern folgende Argumente angeführt:

- Geringer Einfluss wechselnder Motorbelastung auf die Temperaturen von Zylinderkopf und -lauffläche und Kolben;
- geringer Einfluss der Schwankungen der Aussentemperatur auf diese Temperaturen;
- langsamer Temperaturrückgang des Motors nach Abstellen;
- Möglichkeit, bei starker Kälte günstige Startbedingungen durch Anwärmen des Kühlwassers zu schaffen;
- geringer Verschleiss von Zylindern und Kolbenringen;
- günstiger Kraftstoffverbrauch im Teillastgebiet wegen günstigen Wärmezustandes des Motors;
- Entbehrlichkeit von HD-Oelen bei Kraftstoffen mit üblichem Schwefelgehalt;
- ruhiger Motorlauf;
- grosse Hubraumleistung;
- geringer Oelverbrauch;
- geringer Bauaufwand;
- kleiner Raumbedarf.

### **Gegen die Luftkühlung werden angegeben:**

- Ueberhitzungsgefahr bei hohen Aussentemperaturen;
- Ueberkühlungsgefahr bei tiefen Aussentemperaturen;
- Gefahr des Motorausfalls durch Ausfall des Kühlluftgebläses bei Antrieb durch Keilriemen;
- hoher Kraftstoffverbrauch infolge hohen Leistungsbedarfs des Kühlstoffgebläses;
- hoher Ölverbrauch wegen des grösseren Kolbenspiels und schnelle Ölalterung wegen höherer Öltemperaturen;
- Gefahr einer Verspannung von Zylinder und Zylinderkopf;
- starkes Motorgeräusch;
- grosser Raumbedarf;
- hoher Bauaufwand.

### **Für die Luftkühlung**

werden folgende Argumente herausgestellt:

- Unabhängigkeit vom Wasservorkommen;
- Unabhängigkeit sowohl von hoher als auch von niedriger Aussentemperatur;
- Entbehrlichkeit der durch die Wasserkühlung bedingten Wartungsarbeiten und Störungen;
- kurze Anlaufzeit bis zur Belastbarkeit des Motors nach dem Anlassen, besonders bei niedrigen Aussentemperaturen;
- geringer Verschleiss von Zylinder und Kolbenringen;
- Entbehrlichkeit von HD-Ölen bei Kraftstoffen mit üblichem Schwefelgehalt;
- günstiger Kraftstoffverbrauch bei wechselnder und häufig unterbrochener Belastung wegen hoher Motortemperaturen;
- kurze Reparaturzeiten bei Mehrzylindermotoren durch Abnahme einzelner Zylinderköpfe und Zylinder.

### **Gegen die Wasserkühlung**

sollen folgende Nachteile sprechen:

- Abhängigkeit vom Wasservorkommen;
- grössere Störanfälligkeit durch Kühlwasserpumpe, Thermostat und Kühler, so dass laufende Wartung notwendig wird;
- grosser Leistungsbedarf für Lüfter und Kühlwasserpumpe;
- Erfordernis von Frostschutzmitteln;
- grösserer Zylinder- und Kolbenringverschleiss, besonders bei Kraftstoffen mit hohem Schwefelgehalt;
- Notwendigkeit der Verwendung von HD-Ölen;
- hohes Motorgewicht.

## **Die Aufgabe der Kühlung, die Eigenschaften der Kühlmittel und ihr Leistungsbedarf.**

Beim üblichen Dieselmotor werden im Gebiet hoher Teillast etwa 32 % der im Kraftstoff enthaltenen Energie (etwa 10 500 kcal/kg) in nutzbare Arbeit an der Kurbelwelle umgesetzt; hiervon muss noch der Bedarf der Hilfsgeräte gedeckt werden. Im Mittel gehen verloren 29 % durch Auspuffgase, 7 % durch Strahlung, Oelwärme usw. und 32 % (innerhalb der Grenzen von 25 und 40 %) durch das Kühlmittel — Luft oder Wasser — (4). Dieser Prozentsatz entspricht etwa 500 bis 800 kcal/PS (7). Die Abführung dieser Energie an das Kühlmittel ist im Hinblick auf die Warmfestigkeit der Werkstoffe, Schmieröleigenschaften, Füllungsgrad usw. unumgänglich. Beim Dieselmotor liegen die Verbrennungshöchsttemperaturen bei etwa 1800° C; am Ende des Arbeitshubes beträgt die Temperatur im Zylinderinnern über 800° C; sie sinkt auf etwa 500° C während des Auspuffvorganges. Als Mittelwert über die Zeit im Verbrennungsraum rechnet man beim Viertakt-Dieselmotor mit etwa 600° C (8). Die Kühlung geschieht entweder unmittelbar durch die Luft oder mittelbar unter Zwischenschalten einer Flüssigkeit als Wärmetauscher zwischen Zylinder und Zylinderkopf einerseits und der Luft andererseits, wobei man bei dieser Betrachtung von der Verdampfungskühlung absieht. Die von der Kühlluft und/oder der Kühlflüssigkeit aufgenommene Wärmemenge wird bestimmt von der Fördermenge, der Temperaturerhöhung und der spezifischen Wärme der Kühlmittel einerseits und der Kühlfläche, dem Temperaturunterschied der aneinandergrenzenden Stoffe und der Wärmeübergangszahl andererseits.

Wasser ist ein ausgezeichnetes Kühlmittel. Seine geringe Zähigkeit und hohe spezifische Wärme ergeben einen guten Wärmeübergang zwischen ihm und Metall. Bei einer Durchflussgeschwindigkeit des Kühlwassers von etwa 2 m/s gehen beim üblichen Dieselmotor etwa 3000 kcal/m<sup>2</sup>h<sup>0</sup>C von der Wandung an das Wasser über. Bei Bildung von Dampfbläschen kann diese Zahl bis zum doppelten Betrag ansteigen (8). Dadurch kann man örtliche Wärmestauungen verhindern, wenn für Abfluss der Dampfblasen gesorgt ist. Die Wasserkühlung passt sich so an die augenblicklichen Erfordernisse der Wärmeabfuhr, gegebenenfalls unter Wasserverlust, an. Die Siedetemperatur des Wassers nimmt mit steigender Höhe ab, sie beträgt z. B. in 2000 m Höhe 93° C. Wenn für solche Verhältnisse nicht grössere Kühler vorgesehen werden sollen, kann die gesamte Kühlanlage bei betriebs-sicherer Abdichtung unter Druck gesetzt werden, um so höhere Siedetemperaturen zu erreichen. Auf der andern Seite sind Frostschutzmittel notwendig, um das Einfrieren des Kühlwassers zu verhindern. Die erforderliche Kühlluftmenge für den Wasserkühler beträgt etwa 70 bis 90 m<sup>3</sup>/PS<sub>h</sub>. Der Leistungsbedarf für den Lüfter und für die Kühlwasserpumpe liegt bei den üblichen wassergekühlten Ackerschlepper-Dieselmotoren ohne Fahrtwind im allgemeinen zwischen 4 und 6 % der maximalen Motorleistung (1, 9), bei

schlechten Ausführungen jedoch höher. Bei optimaler Auslegung des Kühlsystems sind Werte unter 4% der Motorleistung für Lüfter und Wasserpumpe möglich.

Bei Luft sind die spezifische Wärme und die Wärmeübergangszahl von der Metallwand an die Luft gering. Beispielsweise beträgt bei einer Luftgeschwindigkeit von 20 m/s die Wärmeübergangszahl einer ebenen Wand 70 bis 100 kcal/m<sup>2</sup>h°C, also etwa 1/30 der Wärmeübergangszahl bei Wasser unter vergleichbaren Verhältnissen. Zum Ausgleich muss die Oberfläche von Zylinder und Zylinderkopf durch Kühlrippen vergrößert werden. Das Temperaturgefälle zwischen Kühlrippe und Luft ist etwa doppelt so gross wie dasjenige zwischen Wasserkühler und Luft; damit kann die Kühlluft bei direkter Luftkühlung eine höhere Austrittstemperatur annehmen, und es wird für die Abfuhr der Gesamtwärmemenge entsprechend weniger Kühlluftmenge benötigt. Sind jedoch Nester mit hohen Temperaturen am Zylinderkopf vorhanden, so ist zur Abfuhr der örtlich grossen Wärmemenge mitunter eine Vergrößerung der Geschwindigkeit und damit der Kühlluftmenge erforderlich, wenn besondere Kühlluftführungen zu diesen kritischen Stellen nicht wirksam genug sind. Wichtig für die vom Kühlgebläse aufzubringende Leistung (Kühlluftmenge mal Förderdruck) ist der Förderdruck. Der notwendige Förderdruck beträgt etwa 80 bis 200 mm WS bei Fördermengen von 40 bis 60 m<sup>3</sup>/PSh. Die meist verwendeten Axialgebläse mit maximalen Drehzahlen von 5000 bis 7000 U/min haben damit einen Leistungsbedarf, der zwischen 4 und 8% der maximalen Motorleistung liegt. Diese obere Grenze ist sowohl für Axial- als auch für Radialgebläse durch eigene Messungen bestätigt.

Der Leistungsbedarf für beide Kühlsysteme von Motoren guter Konstruktion und Ausführung ist demnach im allgemeinen ungefähr derselbe.

### **Wärmezustand der Motoren.**

Die Kühlung muss einen Wärmezustand des Motors bei Voll- und Teillast unter den gegebenen Klimabedingungen aufrechterhalten, der

- eine Ueberhitzung mit Rücksicht auf die Warmfestigkeit der Baustoffe und auf das Schmieröl,
- eine Ueberkühlung wegen der Wasserkondensation im Zylinder und
- eine ungleichmässige Temperaturverteilung im Hinblick auf den Verzug von Zylinder und Zylinderkopf

vermeidet. Der nachfolgend angestellte Vergleich betrifft den Viertaktmotor, und zwar den luftgekühlten ohne und den wassergekühlten mit selbsttätiger Temperaturregelung. Ueber den Zweitakt-Dieselmotor sind nicht genügend Unterlagen bekannt. In der Literatur sind wohl Ergebnisse von Untersuchungen über Temperaturen und Temperaturverlauf an wasser- und luftgekühlten Kraftfahrzeugmotoren vorhanden; solche Angaben sind aber für den Ackerschlepper-Dieselmotor spärlich. Die im Institut für Schlepperforschung

bisher auf dem Prüfstand ermittelten Temperaturwerte sind bei den nachfolgenden Betrachtungen berücksichtigt worden; sie reichen jedoch nicht aus, um ein klares Bild über den Temperaturverlauf des luft- und wassergekühlten Dieselmotors im Ackerschlepper bei verschiedener Belastung und verschiedenen Aussentemperaturen zu bringen. Diese dringend notwendigen Untersuchungen sind eingeleitet worden. Ergebnisse sind jedoch vor Jahresfrist kaum zu erwarten.

Bei Vollast sind bei vergleichbaren Motoren die am Kolbenboden auftretenden Höchsttemperaturen bei der Luftkühlung nicht wesentlich höher als bei der Wasserkühlung (bei vergleichbaren Motoren etwa um 40 bis 50° C). Die Höchsttemperaturen am Kolbenboden sind in höherem Masse abhängig von dem Brennverfahren, von der Richtung und Intensität des Brenngasstrahles und vom Einspritzzeitpunkt als von der Kühlungsart. Sie liegen z. B. bei einem wassergekühlten Ackerschleppermotor mit 110 mm Kolbendurchmesser mit Vorkammer bei 240° C und mit Wirbelkammer bei etwa 260° C (10), bei schnelllaufenden, wassergekühlten Fahrzeug-Dieselmotoren mit Vorkammer sogar über 300° C (11). Messungen an einem luftgekühlten Motor mit gleichem Zylinderdurchmesser von 110 mm erbrachten Höchsttemperaturen am Kolbenboden von 335 bis 340° C mit Wirbelkammer und von 300 bis 310° C bei Direkteinspritzung (10).

Die mittleren Temperaturen des luftgekühlten Zylinderkopfes liegen bei 200 bis 235° C. Die Temperaturen an den wärmsten Stellen erreichen 260 bis 280° C, was noch als zulässig angesehen werden kann; bei der Wasserkühlung sind die mittleren Zylinderkopftemperaturen niedriger. Die höchsten Zylinderwandtemperaturen sind bei Wasser- und Luftkühlung ebenfalls unterschiedlich. In der Höhe des obersten Kolbenringes in OT-Stellung (nahe der Zylinderwand) werden von Kremser (12) 125° C für den wassergekühlten Schlepper-Dieselmotor und 265° C für den vergleichbaren luftgekühlten Motor angegeben. Hoffmann (11) führt für einen schnelllaufenden wassergekühlten Fahrzeug-Dieselmotor 218° C als höchste Zylinderwandtemperatur an. Eigene Untersuchungen an bisher vier verschiedenen luftgekühlten Dieselmotoren haben höchste Zylinderwandtemperaturen (2 mm von der Wandung entfernt) von 190 bis 230° C, verschieden je nach Konstruktion und Aussentemperatur, ergeben.

Beim luftgekühlten Motor, insbesondere beim Mehrzylindermotor, ist eine gleichmässige Temperaturverteilung über den Umfang des Zylinderrohres weniger leicht zu erreichen als beim wassergekühlten Motor. Zwischen den Temperaturen auf der Abströmseite und auf der Zuströmseite des luftgekühlten Zylinders ist ein Unterschied festzustellen, der bei etwa 10 bis 30° C liegt. Durch richtige Bemessung der Kühlrippenfläche und durch Luftleitbleche ist bei der Luftkühlung eine befriedigende Gleichmässigkeit in der Temperaturverteilung über den Umfang des Zylinderrohres zu erreichen, wenn auch die günstigen Verhältnisse der Wasserkühlung nicht erzielt werden können.

Die charakteristische Temperaturverteilung über den Umfang des Zylinders bei beiden Kühlsystemen setzt sich auch bis zum unteren Ende des Zylinderrohres fort, wobei bei Vollast der Temperaturabfall bei der Luftkühlung grösser ist als bei der Wasserkühlung; bei der Luftkühlung treten dabei am unteren Zylinderrohr Temperaturen von etwa  $100^{\circ}\text{C}$ , auch bei niedrigen Aussentemperaturen, auf. Der Auswirkung der ungleichmässigeren Temperaturverteilung am Zylinder und der etwas höheren Kolbentemperatur wird beim luftgekühlten Motor durch ein grösseres Spiel zwischen Zylinder und Kolben (der Unterschied beträgt z. B. bei 110 mm Bohrung 0,03 mm) und durch besondere Gestaltung der Zylinderverrippung (z. B. Stachelrippen) begegnet.

Der Gefahr eines Verspannens des luftgekühlten Zylinderkopfes und Zylinders beim Befestigen wird entgegengewirkt durch das Schleifen oder Honen des Zylinders im gespannten Zustand und durch eine bestimmte Art des Anziehens der Zylinderbefestigungsschrauben, soweit Zylinderkopf und Zylinder durch lange Stehbolzen auf dem Kurbelgehäuse befestigt sind. Durch diese und andere Massnahmen konnte das Einbaukolbenspiel bei luftgekühlten Dieselmotoren verringert werden. Auch bei wassergekühlten Mehrzylindermotoren in Blockbauweise kann ein Verziehen des Zylinderkopfes eintreten, wenn die Zylinderbefestigungsschrauben nicht nach Vorschrift angezogen werden oder wenn die Zylinderbüchsen gegenüber dem Zylinderblock überstehen.

Bei Leerlast und voller Drehzahl besteht die Gefahr der Ueberkühlung des Motors, allerdings weniger bei der thermostatisch geregelten Wasserkühlung als vielmehr bei der Luftkühlung ohne Temperaturregler. Eine Zylinderwandtemperatur von  $60\text{--}65^{\circ}\text{C}$  wird als kritisch bezeichnet (3, 4, 5). Ueber die bei verschiedenen Aussentemperaturen auftretenden Zylinderwandtemperaturen an luftgekühlten Ackerschlepper-Dieselmotoren bei Leerlast konnten Angaben in der Literatur nicht gefunden werden. Aus eigenen Untersuchungen an einigen wenigen luftgekühlten Motoren kann geschlossen werden, dass bei normaler Aussentemperatur von etwa  $+20^{\circ}\text{C}$  die Zylinderwandtemperatur auf der Zuströmseite der Kühlluft in der Nähe des oberen Totpunkts zwischen  $90$  und  $130^{\circ}\text{C}$ , in der Nähe des unteren Totpunkt zwischen  $80$  und  $110^{\circ}\text{C}$  liegt. Bei Aenderung der Temperatur der Kühlluft und bei gleichbleibender indizierter Leistung ändert sich die Temperatur des Zylinders um 70 bis 80 % der Differenz der Aussentemperaturen (13). Danach kann angenommen werden, dass Zylinderwandtemperaturen von  $60$  bis  $65^{\circ}\text{C}$  bei den in Deutschland vorkommenden Wintertemperaturen auch bei längerer Dauer der Leerlast überhaupt nicht erreicht werden. Firmenuntersuchungen an luftgekühlten Dieselmotoren haben noch bei  $-28^{\circ}\text{C}$  Aussentemperatur und  $1000$  U/min eine Zylinderwandtemperatur von angenähert  $60^{\circ}\text{C}$  ergeben (14).

Bei Motorleerlauf (Drehzahl  $500$  bis  $550$  U/min sind bei mittlerer Aussentemperatur nach eigenen Messungen an luftgekühlten Ackerschlep-

permotoren als Zylindertemperatur im oberen Totpunkt 105° C mit Wirbelkammer und 85° C mit direkter Einspritzung ermittelt worden. Bei der Wasserkühlung liegen bei Vorhandensein eines betriebssicheren Thermostaten, der bei 80° C anspricht, die Zylindertemperaturen, selbst bei tiefen Aussentemperaturen dann darüber, wenn der Kühler zusätzlich abgedeckt oder eine Kurzschlussleitung vorhanden ist. Auch bei der Luftkühlung kann man durch eine thermostatische Regelung die Zylinderwandtemperaturen bei Leerlast höherhalten, wenn sie anscheinend auch nicht so wirksam ist wie bei der Wasserkühlung (1). Für unsere Temperaturverhältnisse wird von der Industrie der Aufwand einer thermostatischen Regelung bei Ackerschlepper-Dieselmotoren nicht für notwendig angesehen.

Es bliebe noch, den Wärmezustand der kalten Motoren nach dem Start zu untersuchen. Firmenversuche haben ergeben, dass die Wandtemperatur der luftgekühlten Zylinder nach dem Start auch bei tieferen Aussentemperaturen rasch ansteigt (2, 5); entsprechende Untersuchungsergebnisse an wassergekühlten Motoren mit Thermostat sind nicht bekannt. Zeiten, bezogen auf die Kühlmitteltemperatur (1), sind nicht vergleichbar. Bei kurzen Unterbrechungen des Motorbetriebes fällt die mit Thermostat geregelte Kühlwassertemperatur nach dem Abstellen des Motors langsam ab, während beim luftgekühlten Motor die Zylindertemperaturen nach dem Abstellen des Motors in kurzer Zeit absinken.

Bei der Wasserkühlung können günstige Startbedingungen bei tiefen Aussentemperaturen durch Einfüllen von warmem Wasser oder durch ähnliche Hilfen geschaffen werden; auch beim luftgekühlten Motor gibt es im Bedarfsfall Einrichtungen, die das Starten erleichtern. Wichtig ist, dass das dicke Öl in den Pleuellagern und Pleuellagern dünnflüssig gemacht wird, um das Losbrechmoment herabzusetzen. Das gilt im gleichen Masse für Luft- und Wasserkühlung.

Die höheren Zylinderwandtemperaturen bei der Luftkühlung wirken sich auch auf die Öltemperatur aus. Wie weit aber diese in der Ölwanne erhöht wird, hängt von den verschiedensten Faktoren ab. Eine mittlere Öltemperatur über 95° C wird im Hinblick auf die Alterung des Schmieröls als bedenklich angesehen; sie kann durch Ölkühler in erträglichen Grenzen gehalten werden. Damit braucht der luftgekühlte Motor eher einen Ölkühler als der wassergekühlte.

Jedenfalls wirken noch andere Einflüsse, die von der Kühlungsart unabhängig sind, wie z. B. das Durchtreten von Gas in das Pleuellagergehäuse, Güte und Menge des Oeles und die Nachfüllzeiten, auf die Ölalterung ein (14).

## **Verschleiss.**

Der Verschleiss von Zylinderwand, Pleuellager, Pleuellager und Pleuellager bestimmt die Standzeit und damit die Reparaturkosten. Hierbei sind folgende drei Verschleissarten zu unterscheiden: durch bewegte feste Verschleissmittel (Sand, Staub, Pleuellagerkohle und Abrieb), durch gleitende und rollende



Reibung geschmierter Flächen und endlich durch chemische Angriffe (15, 16). Auf die erste Verschleissart braucht hier nicht eingegangen zu werden, da sie mit der Kühlungsart im allgemeinen nichts zu tun hat. Der Verschleiss durch gleitende Reibung geschmierter Flächen kann verschieden sein wegen Unterschieden in der Dicke der Oelschicht, der Temperatur der Bauteile, der durch die Kühlungsart bedingten Werkstoffpaarungen u. a. Aus der umfangreichen Literatur über den Verschleiss ist ersichtlich, dass der chemische Verschleiss beträchtlich ist (15, 16, 17, 18, 19). Der im Kraftstoff enthaltene Schwefel (zur Zeit in Deutschland normal 0,6 bis 0,9 ‰, höchstens bis 1,5 ‰) verbrennt zu  $\text{SO}_2$  und  $\text{SO}_3$  und bildet bei Vorhandensein von kondensiertem Wasserdampf schweflige Säure  $\text{H}_2\text{SO}_3$  und Schwefelsäure  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , welche die Zylinderwände angreifen.

Andererseits aber weisen Broeze und Wilson (21) schon 1949 darauf hin, dass sehr kleine Mengen  $\text{SO}_3$  zu einer Erhöhung des Taupunktes des in den Verbrennungsgasen enthaltenen Wasserdampfes führen. Bei Verwendung eines Dieselkraftstoffes mit 1,5 ‰ Schwefel wurde unterhalb einer mittleren Zylinderwandtemperatur von  $105^\circ\text{C}$  in der OT-Stellung des obersten Kolbenringes, der eine Temperatur von  $65^\circ\text{C}$  in der UT-Stellung des obersten Kolbenringes entsprach, ein Ansteigen des Zylinder- und Kolbenringverschleisses festgestellt; bei einem nahezu entschwefelten Dieselkraftstoff dagegen wurde ein geringer Anstieg des Verschleisses beobachtet. Dabei handelt es sich jedoch nicht um einen Ackerschlepper-Dieselmotor. Es ist nachgewiesen, dass der chemische Verschleiss am grössten in der Gegend der OT-Stellung des obersten Kolbenringes, also in der Zone eines dünnen oder unterbrochenen Oelfilmes ist, wo die Metallflächen dem chemischen Angriff besonders ausgesetzt sind.

Neuere Mitteilungen von anderer Seite bestätigen diese Angaben über die Taupunkterhöhungen des Wasserdampfes der Abgase durch  $\text{SO}_3$  (22). Mit der von Broeze und Wilson angegebenen mittleren Zylinderwandtemperatur in OT-Stellung von  $105^\circ\text{C}$  war bei dem Schwefelgehalt von 1,5 ‰ die Bildung von Schwefelsäure ausgesprochen begünstigt; die Taupunkterhöhung wirkt sich aber bei einem derartigen Schwefelgehalt auch bei höheren Wandtemperaturen aus. Die Luftkühlung führt hier günstigere Verhältnisse als die übliche Wasserkühlung bei gleicher Kolbengeschwindigkeit herbei, jedoch wird der Vorsprung um so kleiner, je geringer der Schwefelgehalt ist.

Es ist ausserdem denkbar, dass die raschere Erwärmung des luftgekühlten Motors zu günstigeren Verschleisswerten bei häufigem Kaltstart führt. Wird beim wassergekühlten Motor warmes Wasser aufgefüllt, dann können ähnlich günstige Voraussetzungen beim Kaltstart geschaffen werden. Jedoch sollen auch hierüber noch einige Untersuchungen durchgeführt werden.

Ein endgültiges Urteil über die Wirksamkeit von HD-Oel auf den Verschleiss bei luftgekühlten und wassergekühlten Motoren mit selbsttätiger Temperaturregelung abzugeben, erscheint verfrüht, da einerseits ausreichen-

de Unterlagen noch nicht vorliegen und andererseits das Verbrennungsverfahren einen wesentlichen Einfluss auf die Notwendigkeit der Verwendung von HD-Oelen zu haben scheint.

Schliesslich darf bei einer Gegenüberstellung der Verschleissergebnisse nicht vergessen werden, dass schlechte Verbrennung den Zylinder- und Kolbenringverschleiss in der Nähe des oberen Totpunkts sowohl beim luft- als auch beim wassergekühlten Dieselmotor erheblich erhöhen kann.

Aus diesen Darlegungen, die sich an dieser Stelle nur auf die wesentlichen Punkte beschränken können, mag ersichtlich sein, wieviel Faktoren bei der Beurteilung des Verschleisses eines Ackerschleppermotors eine Rolle spielen. Ein wirklich objektiver Vergleich des Verschleisses bei luft- und wassergekühlten Motoren ist nur dann möglich, wenn Motoren gleichen Verbrennungsverfahrens, gleicher Zylinder- und Kolbenringwerkstoffe mit gleichen Kraftstoffen und Oelen und bei gleichen Betriebsbedingungen untersucht werden. Es liegen heute in Deutschland noch zu wenig Erfahrungen über den Verschleiss von nach neuzeitlichen Gesichtspunkten gebauten luft- und wassergekühlten Schlepper-Dieselmotoren vor; wenn auch in dem einen oder anderen Fall sowohl bei Wasser- als auch bei Luftkühlung ausserordentlich günstige Verschleisswerte an Zylindern beobachtet worden sind, so ist die Basis der Erfahrungen zur Zeit noch nicht ausreichend, um eine allgemeine Ueberlegenheit der einen oder anderen Kühlungsart hinsichtlich des Verschleisses nachweisen zu können. Es ist daher abwegig, wenn Teilergebnisse aus Untersuchungen (6) herausgegriffen werden, um als Beweismaterial für die grundsätzliche Ueberlegenheit der Luftkühlung über die Wasserkühlung zu dienen (5).

Die im Institut für Schlepperforschung zur Zeit laufenden weiteren Untersuchungen mit luftgekühlten und neuzeitlichen wassergekühlten Dieselmotoren verschiedener Muster im landwirtschaftlichen Einsatz haben den Zweck, Erfahrungswerte über den Verschleiss an Zylindern, Kolbenringen und Kolben zu sammeln.

### **Bedienung; Wartung und Pflege; Betriebszuverlässigkeit.**

Die wichtigste Forderung hinsichtlich der Bedienung geht dahin, dass der Schlepperfahrer dem Motor während der Feldarbeit nur ein Mindestmass an Aufmerksamkeit zuzuwenden braucht, um diese auf die landwirtschaftlichen Arbeiten konzentrieren zu können. Dabei besteht wohl im wesentlichen kein Unterschied, ob der Schlepper einen luft- oder wassergekühlten Motor hat. Beim wassergekühlten Motor wurde immer wieder versucht, eine mit der Hand bedienbare Kühlerabdeckung in Verbindung mit einer einfachen und sicheren Temperaturanzeige für das Kühlwasser einzuführen. Der Thermostat beim wassergekühlten Motor stellt keine Anforderungen an den Schlepperfahrer, vorausgesetzt, dass er störungsfrei arbeitet.

Als ein wesentlicher Vorzug der Luftkühlung muss angesehen werden, dass die laufende Wartung und Pflege des Motors durch Fortfall des Kühlers

und des Kühlmittels mit allen damit zusammenhängenden Erleichterungen in Wartung und Unterstellung geringere Anforderungen an den Schlepperfahrer stellt als die Wasserkühlung. Der Sorge, ob genügend Kühlwasser aufgefüllt, ob ein Gefrierschutzmittel beizufügen ist, wird der Schlepperfahrer bei der Luftkühlung enthoben. Dabei handelt es sich weniger um den Zeitaufwand, der durch die Wartung und Ueberwachung der Wasserkühlung verursacht wird — dieser ist im Vergleich zu den anderen Wartungsarbeiten, wie Oelauffüllen, Kraftstofftanken usw., verhältnismässig gering —, als um die Tatsache, dass bei der Wasserkühlung Kontrollen zu bestimmten Zeitpunkten, wie z. B. vor Einbruch der Kälte, notwendig sind, wenn Schäden vermieden werden sollen.

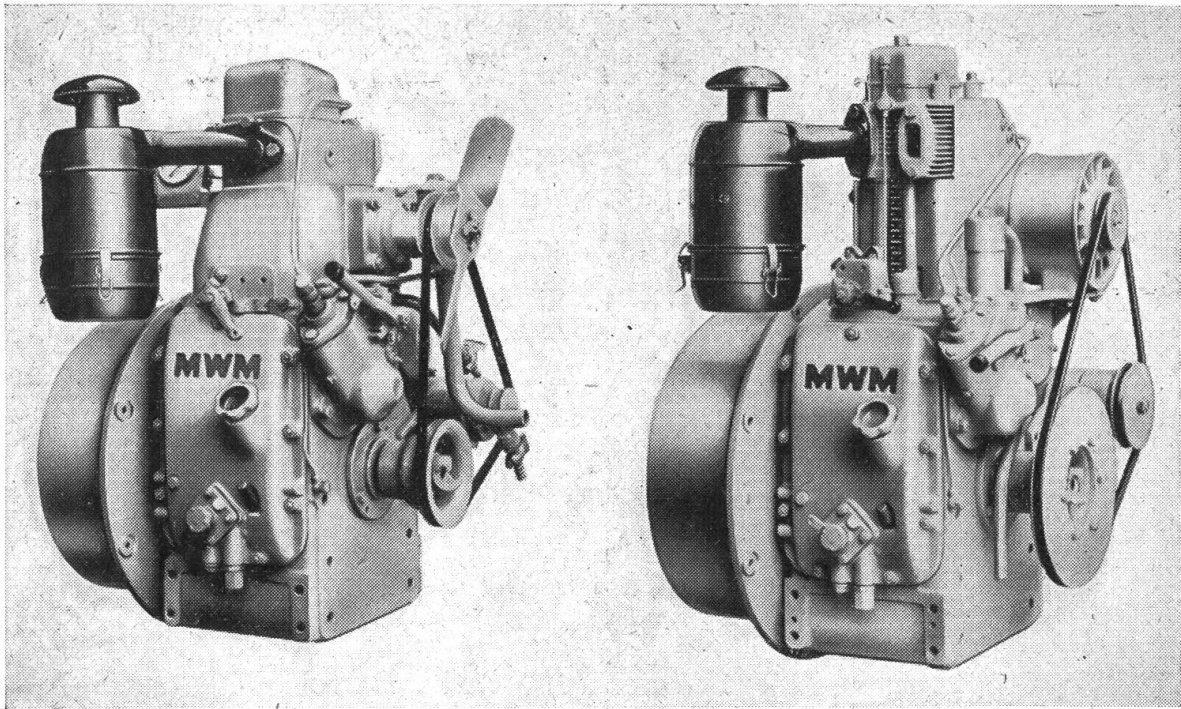
Der Motor — gleichgültig ob wasser- oder luftgekühlt — kann selbst bei den im Inland vorkommenden Höchst-Aussentemperaturen bei Vollast gefährdet sein, wenn Kühlfläche und Fördermenge der Kühlluft nicht genügend gross ausgelegt sind. Der Gefährdung der Betriebszuverlässigkeit beim luftgekühlten Motor durch Ausfall des Kühlluftgebläses wird mehr Bedeutung beigemessen, als ihr wirklich zukommt. Bei den Motoren, bei denen das Gebläse im Schwungrad eingebaut ist oder über Zahnräder angetrieben wird, kann ein Ausfall des Kühlluftgebläses nicht erwartet werden.

Wenn luftgekühlte Motoren nicht öldicht sind, kann ein Verschmutzen der Kühlrippen-Zwischenräume eintreten. Solche Fälle sind beobachtet worden. Eine Kontrolle in dieser Hinsicht ist daher in gewissen Zeiträumen notwendig. Ein Durchtreten von Oel kann bei sorgfältiger Konstruktion vermieden werden. Bei trockenen Motoren ist auch nach längerer Betriebszeit eine Verschmutzung der Kühlrippen-Zwischenräume nicht festgestellt worden. Auch bei wassergekühlten Motoren kann der Kühler bei staubigem Betrieb, besonders beim Dreschen, verschmutzen. Die Aufrechterhaltung eines störungsfreien Betriebes hängt auch hier von der Wartung ab. Die äussere und innere Reinigung eines Kühlers kann umständlicher sein als die Reinigung der Kühlrippen-Zwischenräume.

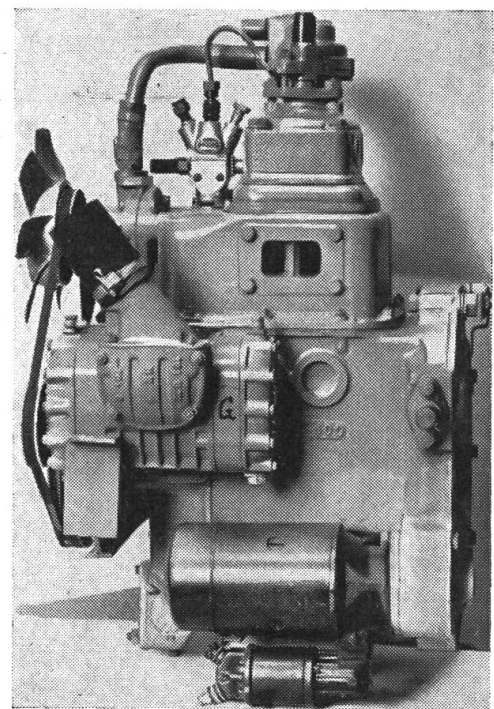
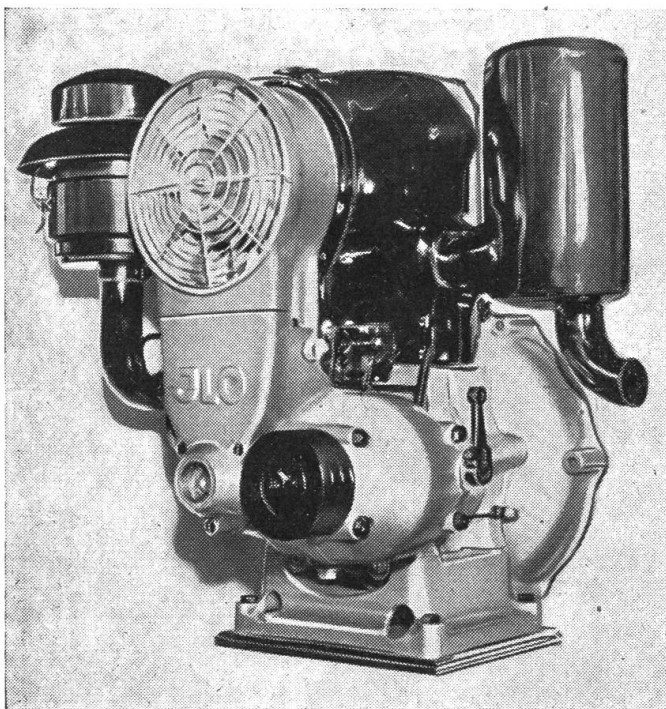
### **Geräusch.**

Bei dem Geräusch haben wir zu unterscheiden zwischen dem eigentlichen Motorgeräusch und dem Geräusch des Kühlluftgebläses bzw. des Lüfters. Die eigentlichen Motorgeräusche entstehen durch Verbrennung, durch die Bewegung von Kolben, Ventilen und Steuerorganen, durch Ansaugung und Auspuff, sowohl bei luft- als auch bei wassergekühlten Motoren. Durch den Wassermantel um Verdichtungsraum und Zylinder werden sie zweifellos bei dem wassergekühlten Motor stärker gedämpft als bei dem luftgekühlten. Hier wird bei der Luftkühlung noch manches getan werden müssen.

Die bei diesem Typ meist verwendeten Axialgebläse entwickeln stärkere Geräusche als der Kühlerlüfter. Bei einigen neuen luftgekühlten Motoren, bei denen das ruhiger laufende Radialgebläse in das Schwungrad eingebaut ist und die Kühlluft durch ein Gussgehäuse geführt wird, ist eine beachtliche Geräuschverminderung des Gebläses erreicht worden.

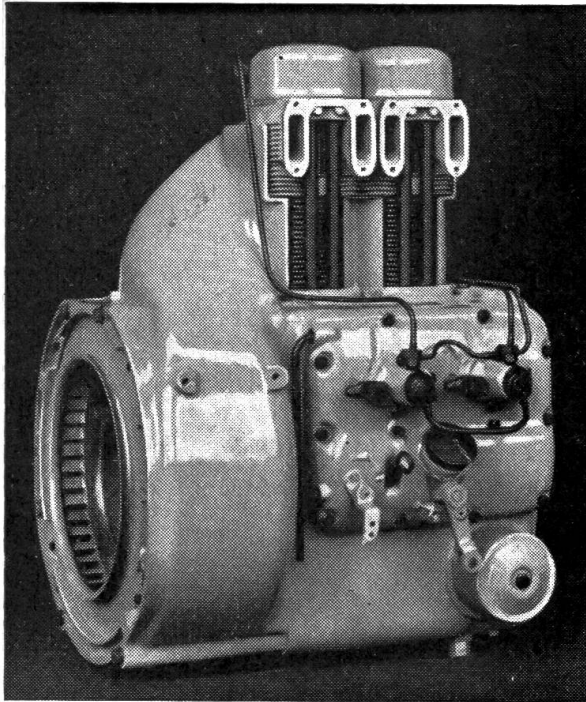


Der wassergekühlte und luftgekühlte Dieselmotor der Motoren-Werke Mannheim.  
Leistung 12 PS bei 2000 U/min.



Links: Luftgekühlter Zweitakt-Dieselmotor der J10-Werke, Pinneberg/Hamburg.  
Leistung 10 PS bei 2000 U/min, Hubraum 660 cm<sup>3</sup>.

Rechts: Wassergekühlter Zweitakt-Dieselmotor der Hanomag, Hannover, mit Spülgebläse.  
Leistung 12 PS bei 2000 U/min, Hubraum 510 cm<sup>3</sup>. G = Spülgebläse.



Luftgekühlter Viertakt-Dieselmotor der Klockner-Humbert-Deutz AG., Köln.  
Leistung 22 PS bei 2100 U/min,  
Hubraum 1530 cm<sup>3</sup>.

### **Hubraumleistung.**

Je höher die Temperaturen von Kopf und Zylinder sind und je mehr die Luft auf dem Wege durch den Ansaugkanal aufgeheizt wird, desto geringer ist das in den Zylinder gelangende Luftgewicht und damit die Motorleistung. Beim luftgekühlten Motor wird die Ansaugluft, insbesondere wenn der Ansaugkanal auf der Kühlluftabflußseite liegt, durch die höhere Zylinderkopftemperatur mehr aufgeheizt. Bei vergleichbaren Motoren — also bei Motoren gleichen Hubraumes, gleicher Drehzahl, gleichen Verbrennungsverfahrens — hat der luftgekühlte Motor infolge geringerer Füllung eine geringere Höchstdauerleistung an der Rauchgrenze als der wassergekühlte Motor. Die Leistungseinbuße kann durch Vergrößerung des Hubraumes um 4 bis 6% ausgeglichen werden. Bei den heute in Deutschland in Ackerschleppern eingebauten luft- und wassergekühlten Viertakt-Dieselmotoren überdecken sich die Hubraumleistungen wegen der verschiedenen Verbrennungsverfahren, Drehzahlen usw. Sie liegen bei 1500 U/min etwa zwischen 10 und 12 PS/l und bei etwa 2000 U/min zwischen 13 und 15 PS/l.

Die Aufladung als Mittel zur Erhöhung des Arbeitsdruckes kann sowohl bei luft- als auch bei wassergekühlten Motoren angewendet werden. Bei Ackerschleppermotoren kommt die Aufladung in erster Linie bei Zweitaktmotoren in Frage. Der Ausnutzung dieser Möglichkeit sind durch die Wärmebelastung des Zylinderkopfes und des Kolbens bei der Luftkühlung eher Grenzen gesetzt als bei der Wasserkühlung.

### **Kraftstoff- und Ölverbrauch.**

Der Tatsache, dass die Wandtemperaturen des Verbrennungsraumes auch im Teillastgebiet beim luftgekühlten Motor höher liegen als beim wassergekühlten, womit geringere Kühlverluste und eine niedrigere Ölviskosität

verbunden sind, wird eine Verringerung des spezifischen Kraftstoffverbrauches bei der Luftkühlung bei Teillast zugeschrieben (3). Dagegen kann angeführt werden, dass die entsprechenden Zylinderwandtemperaturen eines wassergekühlten Motors mit thermostatischer Kühlwasserregelung einen nennenswerten Unterschied in der Oelviskosität nicht bedingen können und dass der Einfluss der Güte der Verbrennung auf den Kraftstoffverbrauch dominiert. So gibt es vergleichbare luft- und wassergekühlte Ackerschlepper-Dieselmotoren, die auf Grund des gleich guten Verbrennungsverfahrens einen niedrigen spezifischen Kraftstoffverbrauch in Teillastgebiet haben, während, auf der anderen Seite sowohl luftgekühlte als auch wassergekühlte Motoren mit verhältnismässig schlechtem Verbrennungsverfahren im Kraftstoffverbrauch hoch liegen.

Aehnlich liegen die Dinge bei der Beurteilung des Oelverschleisses, worunter die bei Motorbetrieb verbrauchte Oelmenge verstanden wird. Man kann nicht behaupten, dass der wassergekühlte Ackerschlepper-Dieselmotor allgemein weniger Oelverschleiss hat als der luftgekühlte, weil sein Kolbenpiel etwas geringer ist als das des luftgekühlten. Der Oelverschleiss wird mehr durch Oelviskosität, Verbrennungsverfahren, Beschaffenheit der Kolbenringe bestimmt als durch die Kühlungsart. Ein Oelverschleiss von 1% des Kraftstoffverbrauchs ist ein Durchschnittswert, der unter normalen Betriebsbedingungen sowohl von luft- als auch von wassergekühlten Viertaktmotoren erreicht wird. Zweitaktmotoren mit Kurbelkastenspülung haben höhere Werte. Viel wichtiger für die Höhe der Schmierstoffkosten ist die Oelwechsellmenge bei der üblichen Wechselzeit von 100 bis 120 Stunden.

### **Raumbedarf und Gewicht.**

Neuzeitliche luft- und wassergekühlte Dieselmotoren in Ein- bis Vierzylinderausführung gleicher Leistung und gleicher Drehzahl haben die gleichen Anschlussmasse und sind in ihren Hauptabmessungen und Einbaumassen kaum voneinander unterschieden.

Der wassergekühlte Dieselmotor ist im allgemeinen oberhalb des Kurbelgehäuses schmaler gebaut, doch ist die grössere Breite des luftgekühlten Motors im Schlepper nicht so bedeutend, als dass durch Unterschiede in den Abmessungen die Sicht des Fahrers in Höhe und Breite bei der Luftkühlung mehr behindert wäre. Der wassergekühlte Motor mit Kühler, Lüfter und Kühlwindabfuhr braucht mehr Raum als der luftgekühlte. Letzterer kann ausserdem leichter an verschiedenen Stellen des Schleppers eingebaut werden, wenn dies aus Gründen des Geräteanbaues Vorteile bringt.

Das Gewicht luftgekühlter Motoren ist eher niedriger als das der wassergekühlten, besonders wenn man bei diesen das Gewicht des Kühlers mit einrechnet. Ein Vergleich zwischen den wasser- und luftgekühlten Ackerschlepper-Dieselmotoren führt wegen der verschiedenen Drehzahlen und Arbeitsverfahren zu keinem übersichtlichen Bild. Stellt man aber neuzeitliche Viertakt-Dieselmotoren gleicher Drehzahl und gleicher Leistung einander gegenüber, so findet man, dass das Leistungsgewicht für den Ein-, Zwei-,

Drei- und Vierzylindermotor bei etwa 18, 12, 10 und 8 kg/PS liegt, gleichgültig ob Wasser- oder Luftkühlung. Bei den wassergekühlten Motoren ist hierbei das Gewicht des Kühlers nicht berücksichtigt. Ein neuzeitlicher wassergekühlter Zweitakt-Dieselmotor von 12 PS Leistung und 2000 U/min mit Spülgebläse wiegt ohne Kühler 8,3 kg/PS, mit Kühler und Wasser 9,4 kg/PS; ein neuzeitlicher luftgekühlter Zweitaktmotor von 15 PS und 1800 U/min wiegt mit Spülgebläse etwa 8,7 kg/PS.

### **Bauaufwand und Preis.**

Wichtig für die Beurteilung des Bauaufwandes eines Motors sind Einsatz- und Fertiggewicht, verwendete Werkstoffe, Bearbeitung, Hubraumleistung. Bei der Luftkühlung wird mehr Leichtmetall mit teilweise schwierigen Eingüssen der Brennkammern verwendet, während man bei wassergekühlten Motoren vorwiegend mit Gusseisen auskommt. Das Kühlluftgebläse — soweit es nicht im Schwungrad eingebaut ist — kann mehr Aufwand bringen als die Wasserpumpe und der Lüfterantrieb zusammen. Dafür kommt bei der Wasserkühlung der Kühler hinzu. Beim luftgekühlten Mehrzylindermotor mit seinen Einzelzylindern können mehr Bauteile gleich sein, was sich günstig auf Fertigungskosten und Ersatzteilkhaltung auswirkt.

Man kann wohl im allgemeinen sagen, dass die Herstellungskosten eines luftgekühlten Motors höher sind als diejenigen eines wassergekühlten, besonders wenn man seine Entwicklungskosten mit berücksichtigt.

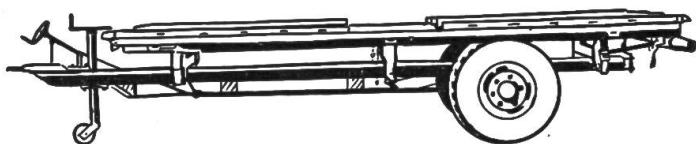
### **Schlussbetrachtung.**

Wenn auch der Anteil der luftgekühlten Motoren im Schlepperbau laufend gestiegen ist (1952: 18%, 1953: 26%) (23), so dürfte doch die Frage «Luft- oder Wasserkühlung bei Schlepper-Dieselmotoren?» zu früh gestellt sein. Dazu ist die Entwicklung sowohl bei den luftgekühlten als auch bei den wassergekühlten Motoren noch zu sehr im Fluss mit dem gleichen Ziel: Verbesserung von Betriebsverhalten, Zuverlässigkeit und Leistung und Senkung von Gewicht, Raumbedarf und Anschaffungs- und Betriebskosten. Durch die Einführung der Luftkühlung sind die Hersteller wassergekühlter Ackerschleppermotoren dazu angeregt worden, die Verbesserungsmöglichkeiten, die die Wasserkühlung noch gestattet, auszunützen; von einigen Firmen sind in dieser Hinsicht bereits beachtliche Erfolge erzielt worden. Deshalb sollte man mehr die Dynamik der Entwicklung sehen und statt einer allgemeinen Stellungnahme die Vor- und Nachteile dieses luftgekühlten Motortyps und jenes wassergekühlten der gleichen Grösse und des gleichen Verwendungszweckes von Fall zu Fall möglichst objektiv einander gegenüberstellen.

*Die vorliegende Abhandlung ist im März 1954 abgeschlossen worden. ATZ (Automobiltechnische Zeitschrift, Heft 4, April 1954). Seit Frühsommer d. J. (Technische Messe Hannover, April/Mai 1954) haben verschiedene Hersteller von solchen Dieselmotoren, die auch für die Landwirtschaft, insbesondere für Schlepper, verwendet werden können, ihr Bauprogramm durch neuentwickelte luftgekühlte Motoren ergänzt.»*

## Schrifttum:

- (1) Bensinger, W. D.: Die Flüssigkeitskühlung bei neuzeitlichen Kraftfahrzeugen. Vergleiche mit der Luftkühlung. ATZ 1953, S. 233/39.
- (2) Cordier, O., Kloss, R., Haesner, A.: Luftgekühlte Fahrzeugmotoren in R. Bussien, Automobiltechnisches Handbuch, 17. Aufl., Berlin 1953, Bd. II.
- (3) Wirbitzky, G.: Der Deutz-Dieselmotor, ein Beweis für die Zweckmässigkeit der Luftkühlung bei Nutzfahrzeugen, München 1952.
- (4) Kloss, R.: Luft- oder Wasserkühlung. ATZ 1953, S. 293/95.
- (5) Kloss, R.: Erfahrungen mit luftgekühlten Dieselmotoren. Auto-Markt und Kraftfahrzeugbetrieb Nr. 34/35, 1953.
- (6) Seifert, A.: Untersuchungen verschiedener Dieselmotoren für Ackerschlepper mit Normal- und HD-Oelen und Dieselkraftstoffen verschiedenen Schwefelgehalts. ATZ 1952, S. 51/56 und 77/81.
- (7) Richter, L.: Verbrennungsmotoren, in Hütte, 27. Auflage, Berlin 1949, Bd. II.
- (8) Löhner, K.: Die Brennkraftmaschine. Düsseldorf 1953.
- (9) Behr, M.: Flüssigkeitskühlung und Kühler für Verbrennungsmotoren in R. Bussien, Automobiltechnisches Handbuch, 17. Aufl., Berlin 1953, Bd. II.
- (10) Kremser, H.: Das Triebwerk schnelllaufender Verbrennungskraftmaschinen. Herausgegeben von Prof. Dr. Hans List, Graz. Wien 1949.
- (11) Hoffmann, H.: Der schnelllaufende Fahrzeug-Dieselmotor. MTZ 1953, S. 324/33.
- (12) Kremser, H.: Vortrag über Hanomag-Dieselmotoren 1953.
- (13) Löhner, K.: Die Grundlagen der Luftkühlung bei Brennkraftmaschinen. MTZ 1951, S. 53/62.
- (14) Kloss, R.: Der luftgekühlte Fahrzeug-Dieselmotor. MTZ 1951, S. 69/76.
- (15) Kern, H.: Schmierölverhalten in Verbrennungsmotoren. Erdöl und Kohle, Bd. 5 (1952), S. 546/65.
- (16) Leunig, G.: Der Verschleiss in Motorenzylindern im Lichte neuerer Forschungen. Bericht der Fachgemeinschaft Kraftmaschinen im VDMA, Frankfurt a. M. 1953.
- (17) Holzer, K. A.: Zylinderverschleiss in Verbrennungsmotoren. München 1952.
- (18) Rothmann G.: Bekämpfung des Zylinderverschleisses bei Fahrzeug-Dieselmotoren. MAN-Forschungsheft 1952.
- (19) Pocock, R.: Engine Wear, SAE-Journal, Januar 1953.
- (20) James, W. S., Brown, B. G., Clark, B. E.: Air Cleaner — Oil Filter Protection Critical Factor in Engine Wear. SAE-Journal, April 1952. Auszug MTZ 1953, S. 284.
- (21) Broeze, J. J., und Wilson, A.: Sulfure in Diesel Fuels, Automobile Engineer, März 1949, S. 118/23.
- (22) Leunig, G.: Fahrzeug und Motor, 1949, Nr. 7, S. 2.
- (23) Schlepper und Landmaschine, Heft 3/1954.



## Anhänger und Pnewagen

in verschiedenen Grössen und Preislagen für Landwirtschaft und Industrie  
erstellt in der bewährten, soliden Leichtmetall-Konstruktion

**Johann Neuhaus** Traktoren-, Pnewagen- und Anhängerfabrik, BEINWIL (Freiamt)