

Ein Beitrag zum Kraftstoffverbrauch von Schleppermotoren

Von Werner Kiene

Im ersten Teil seiner Darlegungen ¹⁾ ist Seifert auch auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch eingegangen. Dieser soll noch etwas näher betrachtet werden.

In Bild 1 ist der bei n_{max} optimal erreichbare, spezifische Kraftstoffverbrauch $b_{e, opt}$ einer Anzahl von Schleppermotoren in Abhängigkeit vom Hubvolumen je Zylinder aufgetragen; $b_{e, opt}$ ist derjenige spezifische Kraftstoffverbrauch, der auf der Reglerkurve bei vollgespanntem Regler erzielbar ist. Diese Darstellung zeigt, daß es fast unmöglich ist, aus der Größe des spezifischen Kraftstoffverbrauches einen Vorteil oder Nachteil irgendeines Verbrennungs- oder Kühlungsverfahrens herauszulesen. Man kann lediglich feststellen, daß die Direkteinspritzung, wozu hier auch das Kolbenbrennraumverfahren zu rechnen ist, besonders bei großen Zylindereinheiten günstigere Werte ergibt als die übrigen Brennverfahren.

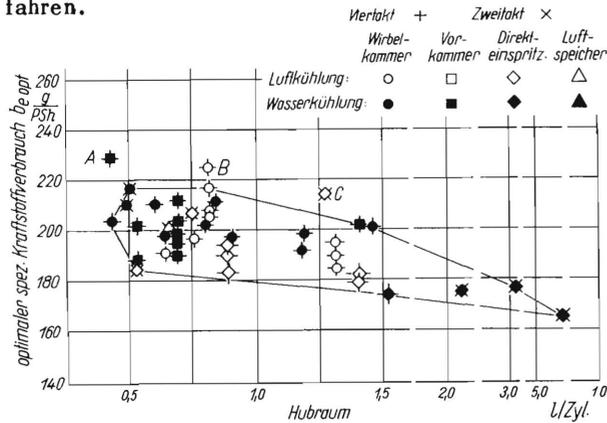


Bild 1. Der bei der grössten Drehzahl optimal erreichbare, spezifische Kraftstoffverbrauch verschiedener Motortypen in Abhängigkeit vom Hubvolumen.

Bild 2 zeigt den spezifischen Kraftstoffverbrauch bei 40% der Nennleistung, ebenfalls wieder auf der Reglerkurve bei vollgespanntem Regler. Auch diese Darstellung zeigt keinen Vor- oder Nachteil des einen oder anderen Verfahrens, die Direkteinspritzung ausgenommen. Die Zahlen zu Bild 1 und 2 sind den Marburgtests entnommen. Seifert bezeichnet es als ein erstrebenswertes Ziel, den mittleren spezifischen Verbrauch der Schleppermotoren bei 40% der Nennleistung – wie schon 1949 festgestellt wurde – auf 250 g/PSH zu senken. Bild 2 zeigt, daß dieses Ziel bei einer Anzahl von Motoren bereits er-

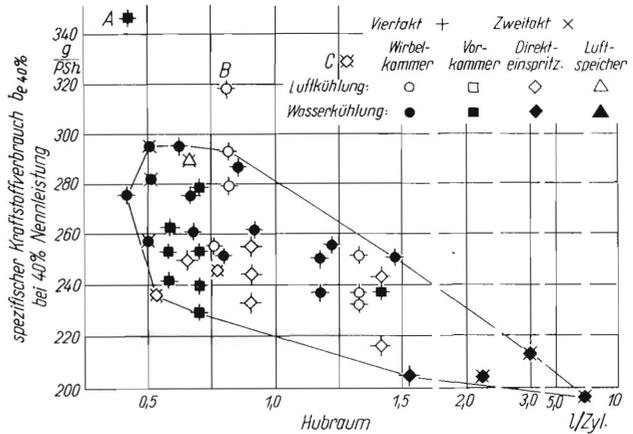


Bild 2. Der spezifische Kraftstoffverbrauch bei 40% der Motorenleistung derselben Motoren wie in Bild 1.

reicht ist, ja, daß der mittlere Wert eher niedriger als 250 g/PSH liegt.

In beiden Diagrammen, Bild 1 und 2, liegen drei Motoren A bis C außerhalb der gezeichneten Umhüllungslinie. Bei Motor A handelt es sich um einen wassergekühlten Vorkammermotor, der ursprünglich für einen anderen Zweck konstruiert wurde und daher eigentlich nicht als Schleppermotor angesprochen werden kann. Motor B ist ein luftgekühlter Wirbelkammermotor, der als Einzylindermotor einer Baureihe mit zu hoher Drehzahl läuft und dazu auch noch überlastet ist. Die übrigen Motoren dieser Baureihe liegen zwar im eingefassten Verbrauchsfeld, aber in dessen oberen Bereich. Schließlich ist der Motor C ein luftgekühlter Zweitaktmotor mit Direkteinspritzung, der aus bestimmten Gründen nicht voll ausgefahren werden kann. Auf die Motoren B und C wird später noch näher eingegangen.

Gerade der spezifische Verbrauch bei 40% der Nennleistung sollte besondere Aufmerksamkeit verdienen, denn er ist von großer Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit eines Motors im Jahresmittel. Diese Tatsache hat sich bei Untersuchungen immer wieder ergeben. Möglicherweise weicht die mittlere Jahresbelastung eines Schleppermotors nach unten oder auch nach oben von Fall zu Fall etwas von 40% ab; diese Kenngröße ist aber trotzdem ein gutes Charakteristikum für die Motorgüte.

Bild 3 zeigt das Kennfeld eines Dieselmotors, wie es heute noch typisch für einen Schleppermotor ist, das aber nicht dem anzustrebenden Ideal entspricht. In dem Kennfeld ist der effektive Mittel-

¹⁾ Artur Seifert, Entwicklungsstand und Betriebseigenschaften von Schleppermotoren (in diesem Heft).

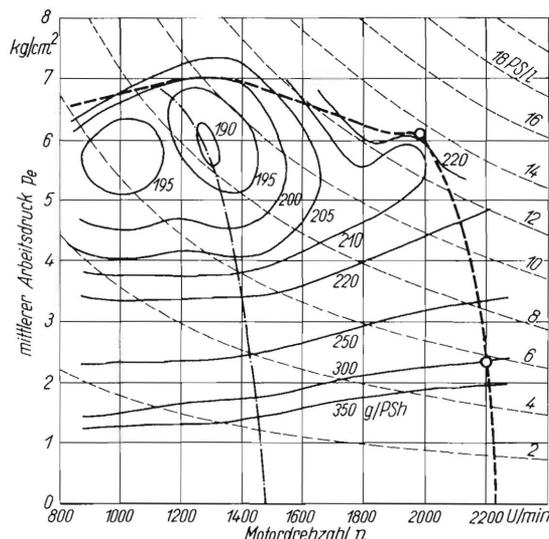


Bild 3. Ungünstiges Kennfeld eines Dieselmotors.
gestrichelte Linie = Grenzregelkurve

druck über der Drehzahl mit den Linien gleichen effektiven, spezifischen Kraftstoffverbrauches aufgetragen. Es handelt sich um einen Motor, der bei 2000 U/min eine Leistung von etwa 14 PS/l Hubvolumen hat. Diese Zahl deckt sich mit den von Seifert angegebenen Werten. 40% der Nennleistung entsprechen etwa 5,5 PS, d.h., bei dieser Leistung hat der Motor auf der Grenzregelkurve einen spezifischen Verbrauch von etwa 300 g/PSH. Der auf der Regelkurve erreichbare, optimale spezifische Verbrauch liegt bei etwa 12 PS/l und beträgt etwas mehr als 210 g/PSH. Damit handelt es sich also um einen Motor, der in Bild 1 und 2 im oberen Teil des Verbrauchsfeldes liegt. Aber der günstigste Bereich des Verbrauches mit dem wirklichen optimalen Wert von 190 g/PSH liegt bei herabgesetzter Drehzahl in der Nähe der Vollastbegrenzungslinie und ist sowohl drehzahl- als auch lastmäßig nur sehr schmal.

H. Meyer ²⁾ zeigt eine Zusammenstellung aller im Laufe eines Jahres im landwirtschaftlichen Betrieb mit dem Schlepper auszuführenden Arbeiten, wobei deutlich wird, welcher hoher Anteil auf Arbeiten mit der Zapfwelle entfällt. Dabei muß bedacht werden, daß die Transportarbeiten, die mit etwa 60% den zeitlich größten Anteil an der Jahresarbeit haben, mit herabgesetzter Drehzahl ausgeführt werden können. Bei Pflug- und sonstigen schweren Feldarbeiten, die eine Motorausnutzung von 70% bis 80% erfordern, und bei Verwendung von zapfwellengetriebenen Geräten wird der Motor immer auf der Grenzregelkurve betrieben. Der hier besprochene Motor läuft also immer in einem Bereich, in dem sein spezifischer Verbrauch 220 bis 250 g/PSH bzw. sogar mehr als 300 g/PSH beträgt. Der Betriebspunkt mit 190 g/PSH wird praktisch nie erreicht, ist also für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der Maschine ohne Bedeutung.

²⁾ Helmut Meyer, Probleme der Schlepperentwicklung (in diesem Heft).

Bild 4 zeigt das Diagramm eines weiteren Motors, ebenfalls als Beispiel dafür, wie es nicht sein soll. Sieht man zunächst einmal von der Grenzregel- und Blockierungslinie ab, so ist das Kennfeld ein an sich sehr gutes Diagramm; läge die Nenn Drehzahl bei 1300 U/min und die Blockierung bei einem p_e von etwa 5 kg/cm², so wäre es geradezu ideal. Die Regelkurve würde den günstigsten Verbrauchsbe- reich anschneiden, und bei 70% bis 80% der Höchstleistung würde der Motor einen spezifischen Verbrauch von etwa 175 g/PSH haben, ja sogar bei 40% Belastung läge dieser noch unter 210 g/PSH. Theoretisch müßte sogar ein mittlerer Druck p_e von 5,5 kg/cm² möglich sein, wodurch die Verbrauchswerte bei 75% und 40% noch günstiger würden. Die eingezeichnete Grenzregel- und Blockierungslinie zeigt aber die wirklichen Verhältnisse. Die Nenn- drehzahl ist mit 1500 U/min zu hoch, und die Blockierung mit 3,5 kg/cm² als Maximum liegt zu niedrig. Diese Einstellung wird von dem betreffenden Hersteller serienmäßig vorgenommen. Es ist daher anzunehmen – und dies hat sich auch tat- sächlich gezeigt –, daß die Maschine nicht mit einem höheren mittleren Druck p_e ausgefahren werden

kann. Obwohl die Maschine bereits auf dem Markt ist, kann sie also als noch nicht fertig entwickelt angesehen werden.

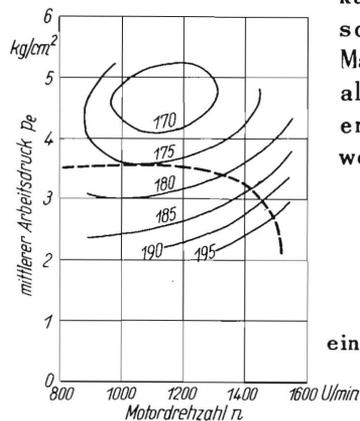


Bild 4.
Ungünstiges Kennfeld
eines anderen Dieselmotors.

Das Diagramm eines Motors, daß dem anzustre- benden Ideal beinahe entspricht, zeigt **Bild 5**. Der günstigste Bereich des spezifischen Verbrauches, der mit 200 g/PSH zwar nicht das Beste darstellt, was erzielbar sein könnte, für eine Wirbelkammer- maschine aber ausreichend ist, liegt ausgespro- chen gut zur Drehzahl; 70% bis 80% bedeuten hier etwa 10 bis 12 PS, d.h. einen mittleren Ver- brauch von 205 g/PSH, und 40% oder 5,5 PS bedeuten etwa 250 g/PSH. Das sind nach Bild 1 und 2 gute Durchschnittswerte. Mit der Grenzregelkurve wird der günstigste Bereich angeschnitten, die Maschine arbeitet also wirtschaftlich. Warum das Kennfeld dieses Motors noch nicht das Ideal dar- stellt, zeigen die Lage und der Verlauf der Blok- kierungslinie: Der Drehmomentverlauf ist nicht gün- stig, weil das Maximum zu dicht bei der Nenn- drehzahl liegt, und dann liegt der günstigste Verbrauch zu dicht an der Blockierungsgrenze. Es wurde die Blockierungsgrenze bei dieser Maschine versuchs-

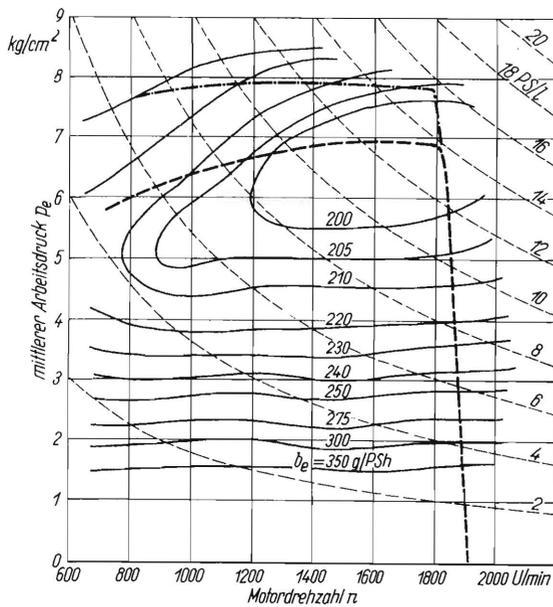


Bild 5. Ideales Kennfeld eines Dieselmotors.
 b_e spezifischer Kraftstoffverbrauch

weise höher eingestellt und dabei ermittelt, daß ein mittlerer Druck von 8 kg/cm^2 noch gefahren werden kann. Würde man außerdem die Drehzahl um 200 U/min heraufsetzen, so hätte diese Maschine eine Leistung von 17 PS/l. Der günstigste Verbrauchsbereich würde dann immer noch angeschnitten werden, und die Verbrauchswerte bei 70 % bis 80 % und 40 % würden 205 bzw. 235 g/PSH sein. Da bei diesem Motor der Bereich des günstigsten Verbrauches auch drehzahlmäßig sehr breit ist – der Bereich für 205 g/PSH reicht herab bis 900 U/min –, ist diese Maschine nicht nur bei schweren Feld- und Transport- sowie allen Zapfwellenarbeiten, sondern besonders auch bei leichten und mittleren Transporten bei herabgesetzter Drehzahl sehr sparsam.

Den Beweis für die Behauptung, daß mit dieser Maschine ein mittlerer Druck p_e von 8 kg/cm^2 gefahren werden kann, bringt Bild 6. Hier ist die je Liter Hubvolumen und Arbeitstakt eingespritzte Kraftstoffmenge über dem erzielten p_e aufgetragen. Man sieht, daß die Maschine eine Menge von 55 bis 60 mg je Liter Hubraum und je Arbeitsspiel noch verarbeiten kann.

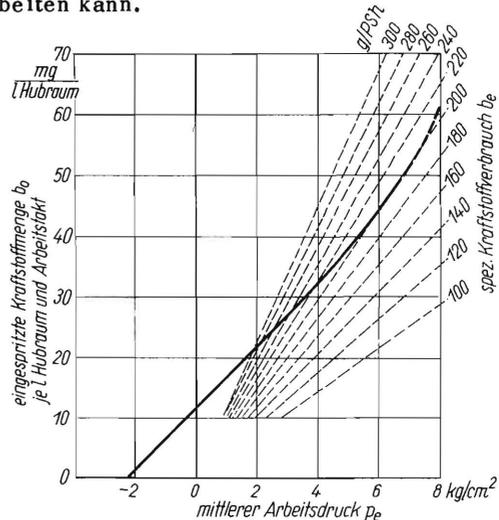


Bild 6. Teillastlinie eines Dieselmotors, ermittelt aus eingespritzter Kraftstoffmenge und mittlerem Druck.

Die Maschine kann noch mit $p_e = 8 \text{ kg/cm}^2$ bei einer Steigerung der eingespritzten Kraftstoffmenge auf 55 bis 60 mg gefahren werden

Es ist mitunter gar nicht notwendig, mit einer Maschine Brennraumversuche anzustellen, um ein gutes Diagramm zu erzielen. Im folgenden wird dagegen an einigen Beispielen gezeigt, wie man durch Veränderung äußerer Aggregate eine gute Maschine verschlechtern kann. Der Motor, dessen Diagramm Bild 5 zeigt, wird als Einbaumaschine in verschiedenen Schleppertypen verwendet. Bild 7 und 8 sind

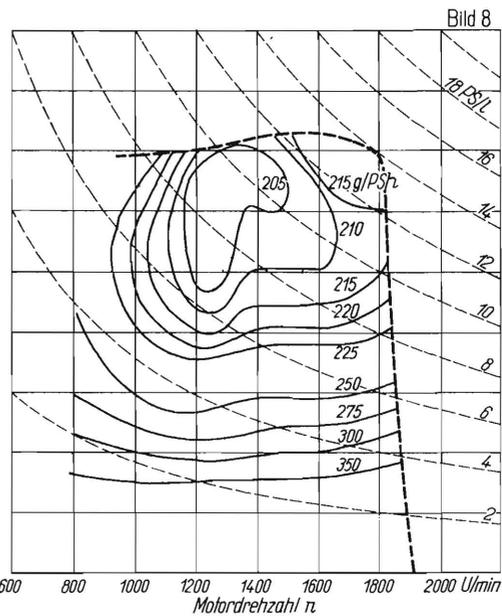
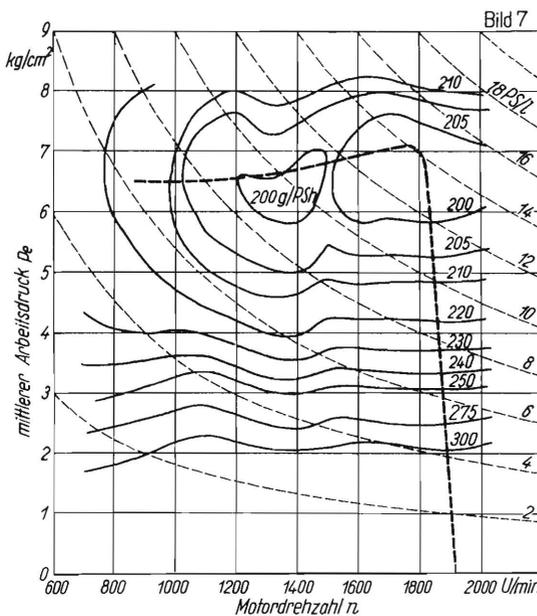


Bild 7 und 8. Kennfelder desselben Dieselmotors wie in Bild 5. Verschlechterung der Kennfelder durch Änderung der Luftfilter-, Auspufftopf- und Kühlerausüstung

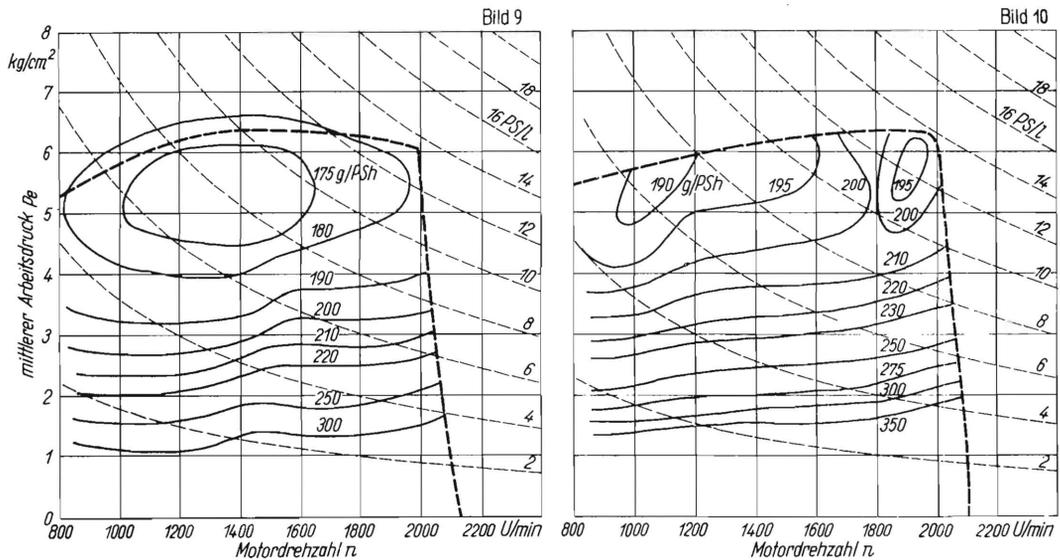


Bild 9 und 10. Kennfelder eines Einbaumotors in zwei verschiedenen Schleppertypen.

Beim Schlepper in Bild 10 musste mit Rücksicht auf die Platzverhältnisse ein anderer Auspufftopf verwendet werden, wodurch das Kennfeld des Motors gegenüber den Verhältnissen in Bild 9 wesentlich verschlechtert wurde.

die Diagramme dieses gleichen Motors, aber jeweils mit Änderungen in der Luftfilter-, Auspufftopf- und Kühlerausrüstung. Während Bild 7 noch die Grundtendenz von Bild 5 bis auf eine geringe Unstetigkeit aufweist, ist das Kennfeld nach Bild 8 von diesen beiden so verschieden, daß man fast nicht glauben kann, daß es sich hier noch um den gleichen Motor handelt. Nicht nur, daß der Bereich von 200 g/PSH überhaupt nicht mehr vorhanden ist – der Unterschied zu dem jetzt vorhandenen, günstigsten Wert von 205 g/PSH ist nicht so entscheidend –, viel bedeutender ist, daß der Bereich von 205 g/PSH von der Grenzregelkurve nicht mehr angeschnitten, sondern nur noch bei niedrigeren Drehzahlen erreicht wird. In dem Gebiet von 70% bis 80% der Nennleistung wird nur noch ein Verbrauch von 215 g/PSH im Mittel und bei 40% ein solcher von 275 g/PSH erzielt. Der Motor ist also nicht mehr so wirtschaftlich, wie mit der Ausrüstung, mit der das Diagramm nach Bild 5 erzielt wurde.

Bei dem nächsten Beispiel in **Bild 9 und 10** handelt es sich wieder um einen Motor, der bei vielen Schleppertypen als Einbaumotor verwendet wird. Die beiden Bilder zeigen die Kennfelder dieses Motors, wie sie bei zwei verschiedenen Schleppertypen derselben Herstellerfirma ermittelt wurden. Für den einen Schleppertyp zeigt das Motordiagramm nach Bild 9 gute Verhältnisse. Auf der Grenzregelkurve werden fast 180 g/PSH im Optimum, 185 g/PSH zwischen 70% und 80% und etwa 240 g/PSH bei 40% Nennleistung erzielt. Dagegen mußte bei dem zweiten Schleppertyp (Bild 10) ein geänderter Aus-

pufftopf verwendet werden, um den für die Anbaugeräte notwendigen Freiraum und ausreichende Sichtverhältnisse zu schaffen. Der in Bild 9 vorhandene, sehr günstige Bereich von 175 g/PSH ist in Bild 10 überhaupt nicht mehr vorhanden; jetzt ist dieser mit nur noch 190 g/PSH sehr schmal und liegt bei 1 000 bis 1 200 U/min, also bei halber Drehzahl. Auf der Grenzregelkurve werden nur noch 200 g/PSH als Minimum, bei 70% bis 80% 205 g/PSH und bei 40% Nennleistung sogar 275 bis 300 g/PSH erreicht.

Es wurde gezeigt, wie man durch verhältnismäßig einfache Mittel einen Motor im Brennstoffverbrauch grundlegend verschlechtern kann. Selbstverständlich wird man den umgekehrten Weg gehen und mit ebenso einfachen Mitteln ein Diagramm entscheidend zu verbessern suchen. Ähnliche Erfahrungen wurden noch an einer Reihe anderer Maschinen, nicht nur mit dem Luftfilter und Auspufftopf, sondern auch mit dem Lüfter und dem Kühler gemacht. Auch die Anordnung der elektrischen Batterie vor dem Kühler hat einen Einfluß, weil die Anströmung des Kühlers und damit die Leistungsaufnahme des Windflügels entscheidend beeinflusst werden können, ohne daß dies bei der Motorentwicklung auf dem Prüfstand bemerkt wird. Daraus ergibt sich die Folgerung, daß auch diesen kleinen, zunächst nebensächlich erscheinenden Dingen eine größere Bedeutung zukommt, als man ihnen im allgemeinen zuzugestehen bereit ist. Ferner ergibt sich daraus die weitere Folgerung, daß den Motorenlieferanten von seinem Abnehmer nicht die Kontrolle über diese sogenannten Zubehörteile entzogen werden darf.

Eingegangen am 18. 5. 56

Schlepper-Prüffeld Marburg
des Kuratoriums für Technik in der Landwirtschaft

Anschrift des Verfassers: Dipl. Ing. Werner Kiene, (16) Rauschholzhausen über Kirchhain (Bez. Kassel), Schloss