



Bild 3. Kalibrierung der Meßgeber im Boden
(Fotos: G. Kotte)

wie z. B. eine Kugel, gemessen. Welcher von den genannten Meßgebern zur Anwendung kommt, richtet sich nach der konkreten Meßaufgabe, d. h. welche Kräfte am Fahrwerk untersucht werden sollen.

Einflußfaktoren bei der Spannungsmessung.
Die Spannungsmessung widerspiegelt den Spannungszustand im Boden zum Zeitpunkt der Bodenbelastung bzw. Überfahrt eines Mechanisierungsmittels. Dabei ist die Spannungsausbreitung von folgenden Faktoren abhängig:

- Spannungs-Dehnungs-Verhalten des Meßgebers

- Abmessung und Form des im Boden eingebetteten Meßgebers
 - Spannungszustand des Bodens
 - Anzahl und Geschwindigkeit der Belastungen.
- Der Spannungszustand des Bodens ist wiederum abhängig von
- Bodenart
 - Bodenfeuchte
 - Bodendichte.

Handhabung der Druckmeßgeber
Die Druckmeßgeber werden zunächst in einem Druckkessel mit einem flüssigen oder gasförmigen Medium kalibriert. Danach erfolgt die Einlagerung im Boden, d. h. entsprechend der festgelegten Meßebe und Tiefe werden die Geber in den Boden gebettet, und ihre Lage wird an der Oberfläche markiert. Durch Stampfen oder Überrollen wird der Boden über und um die Meßgeber verdichtet. Aufgrund der o. g. Einflußfaktoren auf die Spannungsausbreitung ist ein Kalibrieren im Boden mit exakt definierten Flächenlasten notwendig. Diese Kalibrierung kann mit Hilfe eines Hydraulikzylinders erfolgen, der auf eine zentrisch über dem Druckgeber liegende Platte drückt und die Meßstelle stufenweise be- und entlastet (Bild 3). Die so vorbereiteten und gekennzeichneten Meßstellen können anschließend mit den zu untersuchenden Fahrwerken überrollt werden. Das vom Druckgeber registrierte Signal wird über einen entsprechenden Meßverstärker einem Aufzeichnungsgerät zugeführt.

Zusammenfassung
Die Spannungsmessung ist eine einfache und leicht zu handhabende Methode zur Beurteilung der Wirkung von Fahrwerksparametern auf den Boden, da die einmal eingerichtete Meßstelle von mehreren Fahrwerken überrollt werden kann. Zur Zeit sind jedoch mit der Spannungsmes-

sung keine Aussagen zur Bodendichteänderung und damit zu den für das Pflanzenwachstum entscheidenden Bedingungen möglich. Trotz dieses erheblichen Nachteils bieten sich mit der Spannungsmessung für den Konstrukteur von Fahrwerken wesentlich bessere Möglichkeiten der Fahrwerksoptimierung mit dem Ziel, die vom Fahrwerk auf den Boden ausgehenden Kräfte minimal zu halten. Der in [6] dargestellte Spannungsverlauf unter einem Gleisbandfahrwerk zeigt deutlich die Kraftverteilung und somit den Traganteil des Bandes. Eine derartige Beurteilung der einzelnen Fahrwerkelemente ist nur mit Hilfe der Spannungsmessung möglich. Um die Spannungsmessung zu dem genannten Zweck als Meßmethode zu verallgemeinern, sind jedoch noch eine Reihe von Untersuchungen zu den o. g. Einflußfaktoren von seiten des Bodens, der Art der Druckgeber und versuchsmethodisch zu lösen.

Literatur

- [1] Baganz, K.: Spannungs- und Verdichtungsmessungen im Boden bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten. Archiv für Landtechnik, Berlin (1963/64) 4, S. 35–46.
- [2] Reaves, C. A.; Cooper, A. W.: Stress Distribution in Soil under Tractor Loads (Der Druckverlauf im Boden unter Traktorrädern). Agricultural Engineering, St. Joseph, Mich. 41 (1960) 1, S. 20–21.
- [3] Cooper, A. W.: Some Observations on Soil Compaction Tests (Einige Beobachtungen bei Bodenverdichtungsuntersuchungen). Agricultural Engineering, St. Joseph, Mich. 40 (1959) 5, S. 264–265.
- [4] Dudek, D.: Stabilitätsbestimmung an Tagebaugeräten durch Bodendruckmessung unter Raupenfahrwerken. Fördern und Heben, Mainz 33 (1983) 6, S. 436–440.
- [5] Hilmer, K., u. a.: Einbauempfehlung für Erd- und Sohlendruckgeber. Symposium „Meßtechnik im Erd- und Grundbau“, München 1983.
- [6] Rüdiger, A.; Köhler, U.: Abschätzung des mittleren Bodendrucks unter Gleisbandfahrwerken. agrartechnik, Berlin 37 (1987) 2, S. 76–78.

A 4840

Zum Verlustverhalten von Traktorgetrieben – Überblick zum Stand

Dr.-Ing. H. Schulz, KDT/Prof. Dr. sc. techn. K. Queitsch, KDT
Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion
Dipl.-Ing. R. Blumenthal, KDT/Dipl.-Ing. G. Böttger, KDT
Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Traktoren- und Dieselmotorenwerk Schönebeck
Dr.-Ing. A. Skrobaccki, Landwirtschaftliche Hochschule Warschau (VR Polen)

Verwendete Formelzeichen	
$A_0 \dots A_5$	Koeffizienten
a, b, c, d, g	Koeffizienten
F_{Zx}	kN horizontale Zugkraftkomponente
H_U	kJ/kg unterer Kraftstoffheizwert
i_G	Getriebeübersetzung
$K_1 \dots K_6$	Koeffizienten
M_A	Nm Getriebeausgangsmoment
\dot{m}_x	kg/s Kraftstoffmassenstrom
M_M	Nm Motormoment $\hat{=}$ Getriebeeingangsmoment M_E
M_{nenn}	Nm Motornennmoment
M_{Vb}	Nm Verlustmoment durch Belastung
M_{Vf}	Nm Verlustmoment des Fahrwerks
M_{Vg}	Nm gesamtes Verlustmoment
M_{V0}	Nm Leerlaufmoment ($\hat{=}$ M_{E0})
m	Steigungsmaß der Meßgeraden $M_E = f(M_A)$
n_E	U/min Getriebeeingangszustand ($\hat{=}$ n_M)
n_M	U/min momentane Motordrehzahl
n_{nenn}	U/min Motornendrehzahl
P_A	kW Getriebeausgangsleistung

P_E	kW	Eingangsleistung
P_e	kW	Motornennleistung
P_M	kW	Getriebeeingangsleistung (Motorleistung)
P_{Vf}	kW	Fahrwerksverlustleistung
P_{Vg}	kW	Getriebeverlustleistung
P_{Vx}	kW	Kupplungsverlustleistung
P_{V_M}	kW	Motorverlustleistung
P_{Vv}	kW	Verlustleistung der Traktor-Maschinen-Verbindung
v_f	km/h	Fahrgeschwindigkeit
η_G		Getriebewirkungsgrad
η_{Gb}		Teilwirkungsgrad des Getriebes bei Belastung
η_{G0}		Getriebewirkungsgrad ohne Last
λ		Motorauslastungsgrad
v_G		Verlustgrad
v_l		Lagerverlustgrad
v_{lb}		Lagerverlustgrad bei Belastung
v_{0l}	mm ² /s	Ölviskosität
v_p		Panschverlustgrad

v_z		Zahnverlustgrad
v_{zb}		Zahnverlustgrad bei Belastung
v_0		Gesamtverlustgrad ohne Last
ω_A	1/s	Winkelgeschwindigkeit am Getriebeausgang
ω_M	1/s	Winkelgeschwindigkeit des Motors (Getriebeeingang)

1. Einleitung
Im Verlauf der Traktorenentwicklung wurde das Getriebe nahezu zur wichtigsten Baugruppe. Seine Bedeutung liegt einerseits im noch großen Einsatzspektrum der Traktoren im Vergleich zu klassischen Kraftfahrzeugen. Andererseits liegt sie darin, daß ein Fahrer durch die Geschwindigkeitswahl (Gangwahl) mit Hilfe des Getriebes eine der wenigen Möglichkeiten hat, um die Produktivität und

Wirtschaftlichkeit eines Maschinen-Traktor-Aggregats (MTA) direkt zu beeinflussen. Im Getriebe treten dabei Leistungsverluste auf. Mit der Getriebeauslegung wird weiter entschieden, wo die erreichbaren Arbeitspunkte des Motors liegen und damit die Höhe des Kraftstoffverbrauchs beeinflusst.

Der technische Stand der Getriebetechnik für Traktoren, über Jahre analysiert, liegt vor, ebenso die Möglichkeit der Beurteilung der Getriebeabstufung mit Beurteilungsdigrammen [1]. Festzustellen ist weiter, daß Traktorgetriebe, bezogen auf Fahrzeuggetriebe allgemein, eine große Ganganzahl und einen hohen Kompliziertheitsgrad aufweisen, der mit dem vorhandenen Trend zur Synchronisation und zur Schaltung unter Last sicher nicht geringer wird.

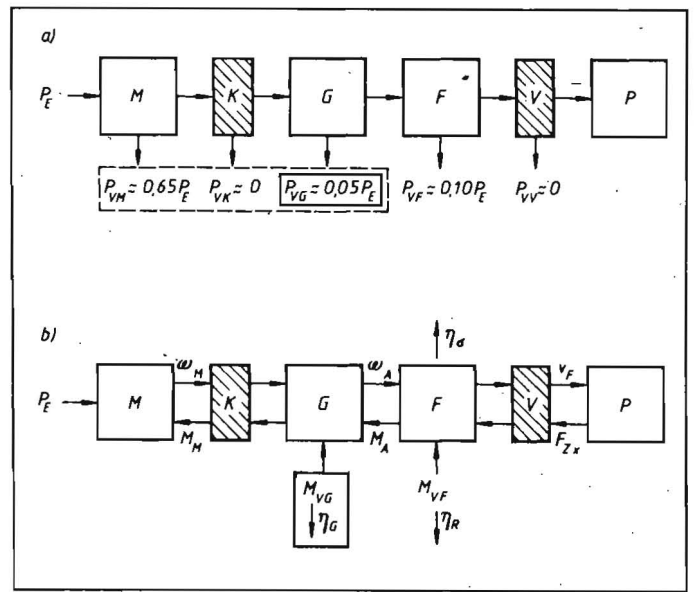
Unter diesen Bedingungen besteht energetisch die Forderung, daß die Eigenverluste der Getriebe im Hauptarbeitsbereich möglichst niedrig und in höheren Gängen, bei Teillast, kalter Witterung u. a. nur möglichst wenig größer sind [1, 2].

Trotz des hohen technischen Stands der Getriebe ist festzustellen, daß die Daten zu ihrer energetischen Beschreibung recht unzureichend sind, ganz abgesehen von der Verfügbarkeit von Wirkungsgradkennfeldern (Getriebekennfelder) zur Erfassung der Verluste $[f(M_M, n_M, i_G)]$. Bekannt sind derartige Wirkungsgradkennfelder für Erzeugnisse aus dem VEB Traktoren- und Dieselmotorenwerk Schönebeck [3, 4].

2. Betrachtungsgegenstand

Nach den Vorbemerkungen erscheint es sinnvoll, den Stand der energetischen Bewertungsmöglichkeit von Traktorgetrieben einzuschätzen. Das bezieht sich darauf, wovon die Energieverluste der Getriebe abhängen, wie sie bewertbar und darstellbar sind und welche Schlußfolgerungen sich daraus ergeben.

Bild 1
Leistungsbilanz eines Traktors anhand eines Strukturmodells a) und eines kinetischen Modells b); M Motor, K Kupplung, G Gehäuse, F Fahrwerk, V Verbindungselemente, P Pflug



gen, wie sie bewertbar und darstellbar sind und welche Schlußfolgerungen sich daraus ergeben.

Untersucht werden dabei Traktorgetriebe für den Fahrtrieb als formgeschlüssige Getriebe in folgenden Ausführungen:

- Wechselgetriebe als Vorgelegegetriebe ohne Synchronisation
- Achsgetriebe mit Drehzahlausgleich als Winkelgetriebe
- Endgetriebe als Vorgelege- oder Umlauf- rädergetriebe.

Diese Abgrenzung wird vorgenommen, weil Ergebnisse von den Getrieben der Traktoren ZT 300 und Ursus C-330 als Beispiele angegeben werden, um Tendenzen darzustellen.

3. Stand der energetischen Bewertungen bei Traktorgetrieben

Beim Einsatz eines Traktors, z. B. für Zugarbeit, kann das Erfüllen dieser Aufgabe als das Wandeln eines Kraftstoffmassstroms ($\dot{m}_K H_U$) in eine translatorische Leistung (Nutzleistung) aufgefaßt werden. Letztere ergibt sich aus der verbraucherseitig (belastungsseitig) bedingten Widerstandskraft eines Arbeitsgeräts und der Fahrgeschwindigkeit (Lastprozeß). Das Verhältnis zwischen der äußeren je Zeiteinheit verrichteten Arbeit (Zugleistung) und dem Kraftstoffmassstrom kennzeichnet die Effektivität der Energiewandlung und -übertragung, die dabei traktorseitig die Stufen Motor, Getriebe und Fahrwerk umfassen (Bild 1).

Das Untersuchen der Energieverteilung in Traktoren bei Inanspruchnahme der Motornennleistung ergibt, daß beim Antreiben in der Summe die größten Energieaufwendungen in den vom Stand der Maschinenbautechnik abhängigen Baugruppen Motor und Getriebe auftreten (Bild 1). Bezogen auf die dem Motor mit dem Kraftstoff je Zeiteinheit zugeführte Energiemenge (Eingangsleistung $P_E = \dot{m}_K H_U$) sind das immerhin etwa 70%. Bei Teillast gelten andere Verlustanteile, meistens größere [3].

Obwohl Traktorgetriebe klassische Erzeugnisse des Maschinenbaus sind, ist festzustellen, daß in bezug auf andere Traktorbaugruppen die energetischen Angaben hierüber eher spärlich und z. T. auch widersprüchlich sind. Eventuell kann die Ursache dafür darin liegen, daß bei Motornennleistung bzw. bei hohen Getriebeeingangsmomenten relativ geringe Getriebeverluste auftreten ($\approx 0,05 P_E$ oder $\approx 0,14 P_e$). Da aber ein Motorauslastungsgrad $\lambda = P_M/P_e = 1$ nur selten erreicht wird, liegen die Getriebeverluste, abhängig von der Häufigkeitsverteilung der Motorbelastung (momentane Motorleistung = Getriebeeingangleistung), höher [3, 4, 5].

Einfachste Betrachtungen über die Energieverluste von Traktorgetrieben gehen von einem konstanten Wirkungsgrad des gesamten Getriebes oder eines Übersetzungsteils (Zahnradpaar) aus. Bei ersterem wird die Verlustleistung des Getriebes auf die Motornennleistung bezogen bzw. noch das Drehzahlverhältnis Getriebeeingangsdrehzahl zur Motornennzahl berücksichtigt. Neuere

Tafel 1. Zusammenstellung von Unterlagen zum Berechnen der Getriebeverluste (Wirkungsgrad)

Wirkungsgradbeziehungen	Literatur	Bemerkungen
$\eta_G = \text{konstant}$		
$P_{VG} = P_e (1 - \eta_G) = P_A \left(\frac{1}{\eta_G} - 1 \right)$		
$P_{VG} = P_e \frac{\eta_M}{\eta_{nenn}} (1 - \eta_G)$	[7]	Beachtung: Drehzahleinfluß für Verlustleistung
Wirkungsgradbeziehungen durch Aufbereitung von Versuchsunterlagen		
$\eta_G = 0,970 + 0,001 \frac{1}{\lambda^2} - 0,074 \frac{1}{\lambda} - 0,039 \lambda$	[8]	Beachtung: Last- und Drehzahleinfluß, gültig für Motorkennfeldbegrenzung
$\eta_G = a + b\omega_M + cM_M + d \ln(M_M) + e [1/M_M^4 + f(\omega_M/M_M^4) + g M_M \omega_M]$	[9]	
$\eta_G = A_0 + A_1 M_M + A_2 M_M^2 + n_M / (A_3 + A_4 M_M + A_5 M_M^2)$	[10]	Beachtung: Last-, Drehzahl- und Übersetzungseinfluß, da aus η_G -Kennfeld jedes Gangs ermittelbar
$\eta_G = (M_M - M_{VG})/M_M$	[11]	
$\eta_G(M_M) = K_1 - e^{-M_M/K_2}$	[11]	Beachtung: Lasteinfluß
$\eta_G(M_M) = K_3 - \frac{K_4}{M_M}$	[11]	
$\eta_G(n_M) = K_5 - K_6 n_M$	[11]	
Wirkungsgradbeziehungen aus unmittelbaren Meßdaten		
$\eta_G = \frac{1}{i_G m} \left(1 - \frac{M_{E0}}{M_E} \right)$	[12]	M_E vorgegeben $m = M_E = f(M_A)$
$\eta_G = \frac{1}{i_G \left(\frac{M_{E0}}{M_A} + m \right)}$		M_A vorgegeben
$\eta_G = \frac{M_E - (M_{V0} + M_{Vd})}{M_E i_G}$	[13, 26]	

Untersuchungen gehen von Versuchsdaten der Getriebe aus, indem Meßdaten mathematisch aufbereitet werden. Die z. Z. bekanntgewordenen Unterlagen zur Berechnung der Getriebeverluste sind in Tafel 1 zusammengestellt.

Bei Einzelbetrachtungen an Getriebebauteilen und über das Getriebeöl werden die Zahnradverluste (Wälzverluste) bei Stirnrädern mit etwa 1,0% und bei Kegelrädern mit 1,5 bis 3,0% der übertragbaren Leistung je Übersetzungsteil gesetzt. Für jede Wellenlagerung werden 0,5% der übertragbaren Leistung zugrunde gelegt und die Verluste durch Ölpanschen [$f(v_{0i})$] mit 1,0 bis 5% angenommen [6]. Die für Traktorgetriebe ermittelten, eingeschätzten und empfohlenen Wirkungsgrade und Wirkungsgradbereiche sind in Tafel 2 angegeben.

4. Einflüsse auf die Energiebeziehungen

4.1. Allgemeine Angaben zu den Verlusten

Das Vorausbestimmen des Verlustverhaltens von Traktorgetrieben ist gegenwärtig noch nicht genau genug möglich. Getriebe werden auf Getriebeprüfständen untersucht. Dabei werden sie angetrieben, und anstelle der Antriebsräder sind Bremseinrichtungen vorhanden. Im Ergebnis werden Verlustmomente, Verlustleistungen, Wirkungsgrade oder Verlustgrade und Einflüsse darauf aus den Meßdaten ermittelt.

Die Verluste in Zahnradgetrieben sind von einer Reihe von Parametern und Faktoren, wie Getriebebauart, Werkstoffe, Lagerungsart, Art der Schmierung, Schmierölart und -menge, Oberfläche und Profilgenauigkeit der Zahnflanken, Umfangsgeschwindigkeiten der Zahnräder (Panschen), Öltemperatur, Leistungsbedarf der Schmiereinrichtung bei Pumpenschmierung, und besonders von der Größe des Eingangsmoments, der Eingangsdrehzahl sowie des gewählten Ganges (Übersetzungsverhältnis) abhängig.

Die Verluste von Zahnradgetrieben werden als Verlustmoment bzw. Verlustleistung [3, 7, 13, 25] angegeben oder durch Wirkungsgrad η_G oder Verlustgrad v_G ausgedrückt.

Bei der Verlustangabe durch den Wirkungsgrad werden die ermittelten Ausgangs- und Eingangsleistungen (Motorleistungen, s. a. Bild 1b) zueinander ins Verhältnis gesetzt mit

$$\eta_G = \frac{P_A}{P_M} = \frac{P_M - P_{VG}}{P_M} = 1 - \frac{P_{VG}}{P_M} = 1 - v_G \quad (1a)$$

Mit $P_A = M_A \omega_A$, $P_M = M_M \omega_M$ und $\omega_A = \omega_M / i_G$ wird

$$\eta_G = \frac{M_A}{M_M} \frac{1}{i_G} \quad (1b)$$

Für η_G sind M_M , M_A bei veränderlicher Eingangswinkelgeschwindigkeit ω_M zu ermitteln. Wird die Verlustleistung in das Verhältnis zur Eingangsleistung gesetzt, wird dieses Verhältnis als Verlustgrad v_G bezeichnet [25]:

$$v_G = \frac{P_{VG}}{P_M} = \frac{P_M - P_A}{P_M} = 1 - \frac{P_A}{P_M} = 1 - \frac{M_A}{M_M i_G} = 1 - \eta_G \quad (2a)$$

Für v_G sind die gleichen Daten wie für η_G zu ermitteln. Die wesentlichen Verluste im Getriebe treten an der Verzahnung, in der Lagerung und durch Panschen oder Pumpenleistungsbedarf auf. Der Verlustgrad kann somit auch wie folgt angegeben werden:

$$v_G = v_z + v_L + v_P \quad (2b)$$

Tafel 2. Zusammenstellung von Angaben über Wirkungsgrade von Traktorgetrieben

Getriebewirkungsgrad η_G	Literatur	Bemerkungen
$\eta_G = \text{konstant}$		
0,89	[14]	
0,95	[15]	
0,89	[16]	
0,86	DDR-Traktorprüfberichte	
geringer η_G -Bereich		
0,85...0,90	[2]	
0,85...0,90	[17]	
0,90...0,94	[18]	bei 50 bis 100% Belastung
0,85...0,92	[19]	
0,80...0,93	[20]	Stufengetriebe
0,74...0,87		Stufengetriebe, lastschaltbar
0,80...0,85		hydrostatisches Getriebe
0,82...0,90	[5]	nach OECD-Traktorentests abgeschätzt
(Mittelwert 0,86)		
großer η_G -Bereich		
0,38...0,75	[21]	mechanisch-hydraulisches Getriebe, last-, drehzahl- und antriebsabhängig
0,56...0,86	[6]	last- und drehzahlabhängig
0,50...0,70	[5]	Straße, 25% P_e ($\lambda = 0,25$), n_{nenn}
0,50...0,90	[22]	last- und drehzahlabhängig
0,78...0,90	[23]	last- und drehzahlabhängig, $\eta_G \approx 0,9$ bei $\lambda \approx 1$, $\approx 0,75$ bei Leerfahrt ($\lambda \approx 0,15 \dots 0,20$)
0,60...0,84	[24]	last- und drehzahlabhängig, Rückrechnung aus Lastprozeß

Da diese Verluste belastungsabhängig sind, kann auch angegeben werden [25]:

$$v_G = v_o + v_{zb} + v_{lb} \quad (2c)$$

Die Aussage von η_G und v_G über die Getriebeverluste dürfte unter normalen Bedingungen (ausreichende Getriebebelastung) gleichwertig sein, bei geringer Belastung dürfte es für η_G gemäß Definition eine Grenze für Wertangaben geben. Nach Gl. (1b) kann auch angegeben werden:

$$\eta_G = \frac{M_M - M_{VG}}{M_M i_G} \quad (1c)$$

Das Verlustmoment M_{VG} setzt sich aus dem Leerlaufmoment M_{V_o} und den bei Getriebebelastung zusätzlich ansteigenden Verlusten (Verlustmoment durch Belastung M_{V_b}) zusammen. Die Beziehung zwischen Eingangsmoment M_M und Verlustmoment M_{VG} kann nach [13, 26] mit hinreichender Genauigkeit, wie im Bild 2 dargestellt, angenommen werden. Damit werden

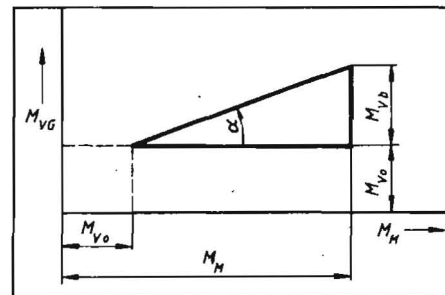


Bild 2. Verlustverhalten von Traktorgetrieben

Bild 3. Getriebewirkungsgrad aus den Verlusten bei Leerlauf und Belastung (Tendenz)

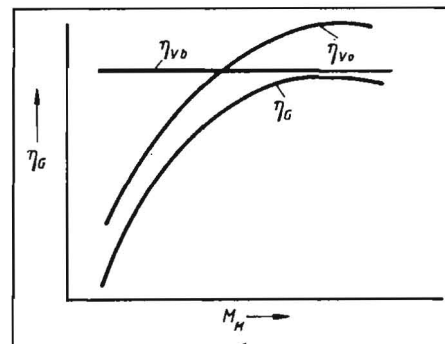
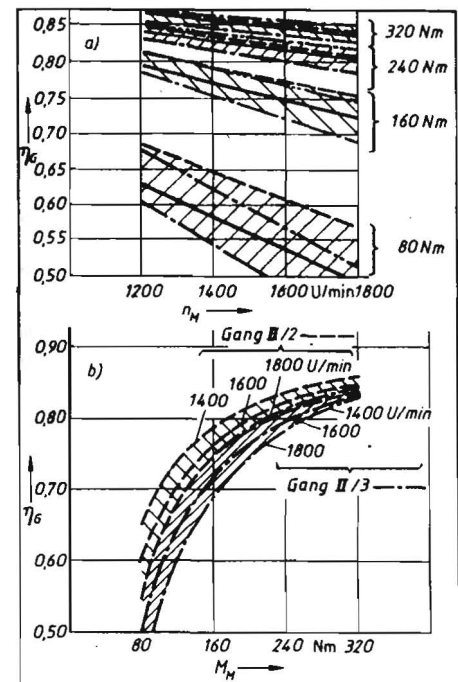


Bild 4. Abhängigkeit des Getriebewirkungsgrads von Drehzahl a) und Eingangsmoment b) für einige Gänge des Getriebes des ZT 300; zu a) Gänge --- II/3, — I/3, --- II/2, ---- i/2



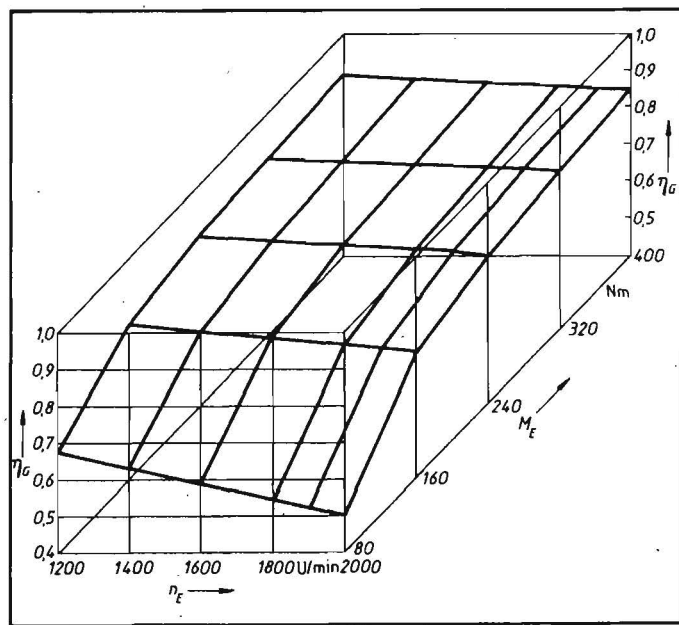


Bild 5. Räumliches Wirkungsgradkennfeld für den Gang II/2 des Traktors ZT 300

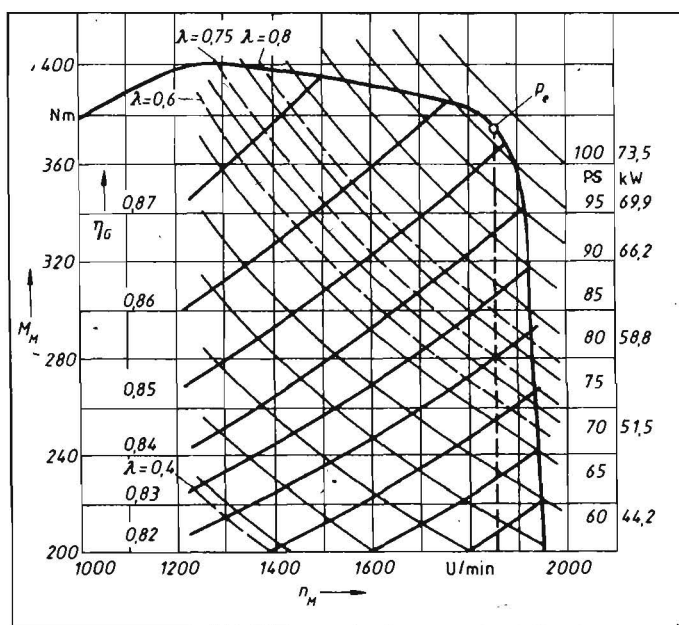


Bild 7. Wirkungsgradkennfeld für den Gang I/3 des Traktors ZT 300 mit eingezeichnetem Drehmomentenverlauf für Abregel- und Vollastlinie und Linien $\lambda = \text{konstant}$

$$M_{vb} = (M_M - M_{Vo}) \tan \alpha \quad (3)$$

$$M_{VG} = M_{Vo} + (M_M - M_{Vo}) \tan \alpha \quad (4)$$

Es wird entsprechend Bild 3

$$\eta_G = \left(1 - \frac{M_{Vo}}{M_M}\right) (1 - \tan \alpha) = \eta_{G0} \eta_{Gb} \quad (5)$$

4.2. Einfluß von Belastung,

Drehzahl und Übersetzung

Nach durchgeführten Getriebeuntersuchungen und davon vorliegenden Ergebnissen [3, 4, 12, 13, 25, 27] sind die Getriebeverluste vom Getriebeeingangsmoment M_M , von der Getriebeeingangsdrehzahl n_M und der Gangwahl i_G abhängig. Aus den ausgewerteten Versuchen nach [3] am Getriebe des Traktors ZT 300 kann das eindeutig nachgewiesen und auch überschaubar dargestellt werden (Bilder 4 bis 6). Es handelt sich dabei um die Gänge des Getriebes, die bevorzugt zum Pflügen verwendet werden. Eindeutig ist zu erkennen, daß der größte Einfluß auf den Getriebewirkungsgrad durch die Höhe des Eingangsmoments gegeben ist (Bilder 4b und 5). Der Getriebewirkungsgrad nimmt bei Drehzahlzunahme und konstantem M_M linear ab. Er ist ferner gangabhängig und wird in den einzelnen Gängen unterschiedlich größer, je kleiner das Eingangsmoment M_M wird (Bild 4a), d. h., bei hoher Motorbelastung und damit hohem Getriebeeingangsmoment wird der Drehzahleinfluß auf den Getriebewirkungsgrad nahezu vernachlässigbar. Das bezieht sich auch auf den Unterschied nach Größe und Verlauf des Getriebewirkungsgrads in den Gängen untereinander (Bild 4a). Die Wirkungsgradunterschiede sind bei hoher Belastung somit ebenfalls nicht gravierend unterschiedlich.

Bei vernünftiger hoher Motorauslastung, auch aus Gründen des wirtschaftlichen Motorbetriebs, und damit einer hohen Getriebebelastung (großes M_M) kann die Reihenfolge des Einflusses mit fallender Tendenz auf den Getriebewirkungsgrad mit M_M , n_M , i_G angegeben werden, während bei sehr geringer Belastung eher die Tendenz M_M , i_G , n_M Gültigkeit hat.

Der angeführte Größeneinfluß auf den Ge-

triebewirkungsgrad $\eta_G = \eta_G(M_M, n_M, i_G)$ und die zuerst genannte Tendenz werden durch Analysen in [11] bestätigt, indem folgende Rangfolge der Einflußmächtigkeit ζ auf den Getriebewirkungsgrad angegeben wird:

$$\zeta(M_M) > \zeta(n_M) > \zeta(i_G) \quad (6)$$

Die ermittelten mathematischen Beschreibungen der Parameterabhängigkeit $\eta_G = f(M_M)$ und $\eta_G = f(n_M)$ sind ebenfalls in Tafel 1 angegeben.

Nach den dargestellten Abhängigkeiten des Getriebewirkungsgrads von den wesentlichen Einflußgrößen kann eingeschätzt werden, daß die Energieübertragung im Getriebe am wenigsten verlustbehaftet ist, wenn die Getriebebelastung M_M hoch ist. Während z. B. die Belastung auf etwa ein Viertel des Nennmoments sinkt, nimmt unter normalen Bedingungen der Wirkungsgrad auf $\eta_G \approx 0,50$ ab (Prüfbedingungen nach [3]).

Bei allen Belastungseinschätzungen ist zu beachten, daß sich bei der Bewertung nach Bild 6 ($\lambda \leq 1$, $n_M = \text{konstant}$) doch gewisse Abweichungen im praktischen Einsatz einstellen. Wird z. B. gepflügt (Motor auf Voll-

förderung), so stellt sich ein Arbeitspunkt bei $\lambda < 1$ auf der Abregellinie oder auf der Blockierungslinie ein. Auf der Abregellinie mit $M_M < M_{nenn}$ und $n_M > n_{nenn}$ wird der Wirkungsgrad η_G kleiner, auf der Blockierungslinie mit $M_M > M_{nenn}$ und $n_M < n_{nenn}$ (s. a. Bilder 4 und 5) wird η_G größer. Bei Arbeiten, bei denen der Motor auf Vollförderung eingestellt ist, ergibt sich somit je nach Belastungswechsel mit $\lambda \geq 1$ das Wirkungsgradverhalten des betrachteten Traktorgetriebes nach Bild 7.

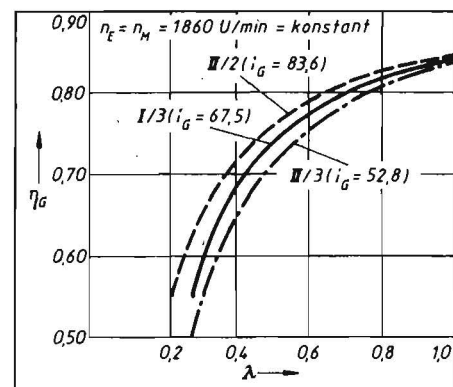
Bekannterweise ist ein Arbeitspunkt auf der Blockierungslinie trotz hohem erreichbaren Getriebewirkungsgrad recht instabil, so daß das Wirkungsgradverhalten auf der Abregellinie von bedeutendem Interesse ist, zumal der Getriebewiderstand bei Teillast relativ schnell sinkt (Bilder 6 und 7).

4.3. Einfluß der Ölviskosität und der Getriebetemperatur

Im allgemeinen steigt der Wirkungsgrad mit sinkender Ölviskosität und zunehmender Getriebetemperatur (Öltemperatur) [6, 13, 25 bis 29]. Die Ölviskosität und die sich einstellende Öltemperatur sind gegenseitig voneinander abhängig. Der Einfluß beider auf die Getriebeverluste läßt sich von der Wirkung her zweckmäßig durch das Verlustmoment bewerten (s. a. Bild 2). Nach Messungen von Skrobacki [13, 28] am Getriebe des Traktors Ursus C-330 ist die Wirkung der Temperatur auf das Verlustmoment zunächst gangabhängig (Bild 8). Die Größen des Verlustmoments in Abhängigkeit von der Öltemperatur bei verschiedenen Ölviskositäten sind im Bild 9 angegeben. Wie sich am gleichen Getriebe nur durch unterschiedliche Öltemperatur der Wirkungsgrad in 3 ausgewählten Gängen verändert, ist anschaulich im Bild 10 dargestellt (s. a. Bild 8). Eine verringerte Ölviskosität durch die Ölsorte oder höhere Temperatur ergibt kleinere Ölpanschverluste. Das Verlustmoment ist dabei proportional der Viskosität [27].

Wenn keine Last am Getriebe anliegt, stellt die aufzubringende Leistung, z. B. bei der Getriebeprüfung, die Getriebeverlustleistung dar. Diese Verlustleistung wird wesentlich

Bild 6. Getriebewirkungsgrad $\eta_G(\lambda, i_G)$ für einige Gänge des Traktors ZT 300 längs der Abregellinie des Motors (Drehzahleinstellung für Bodenbearbeitung)



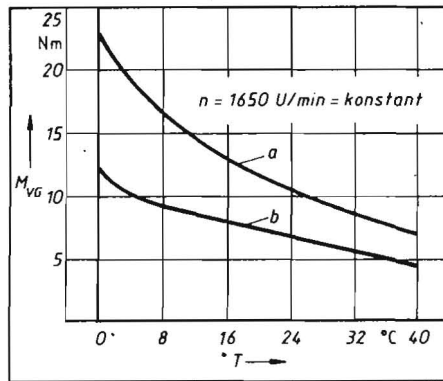
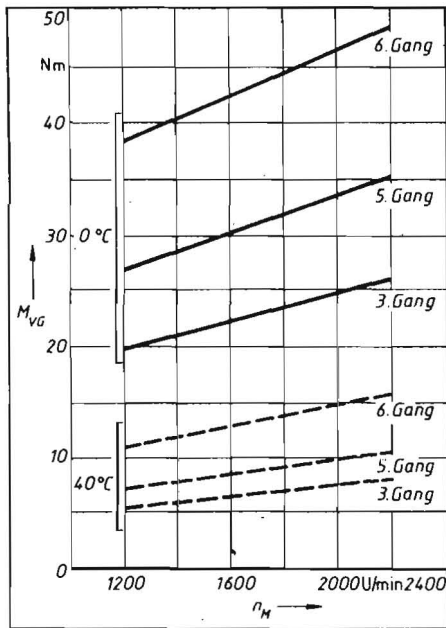


Bild 9. Verlustmoment des Getriebes des Traktors Ursus C-330 in Abhängigkeit von der Öltemperatur;
a $v_{\text{öl}} = 8 \dots 10 \text{ mm}^2/\text{s}$;
b $v_{\text{öl}} = 43 \dots 48 \text{ mm}^2/\text{s}$

Bild 8. Gangabhängiges Verlustmoment des Getriebes des Traktors Ursus C-330 bei Öltemperaturen von 0°C und 40°C

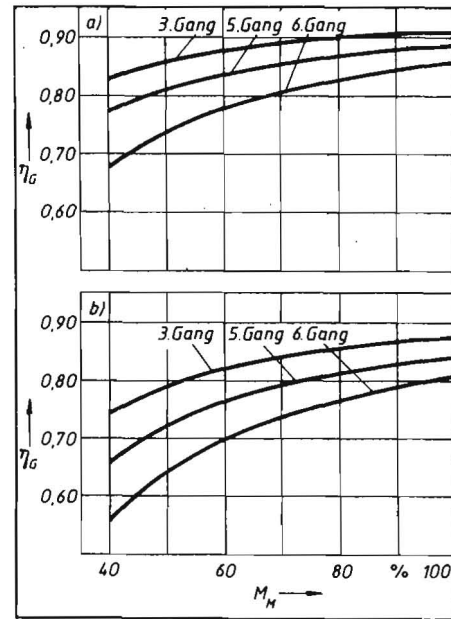


Bild 10. Getriebewirkungsgrad des Traktors Ursus C-330 in Abhängigkeit von Eingangsmoment und Getriebezug;
a) $T_{\text{öl}} = 40^\circ\text{C}$, $v_{\text{öl}} = 43 \dots 48 \text{ mm}^2/\text{s}$
b) $T_{\text{öl}} = 20^\circ\text{C}$, $v_{\text{öl}} = 43 \dots 48 \text{ mm}^2/\text{s}$

Tafel 3. Bedingungen und Koeffizienten für die Ermittlung des Verlustmoments (Öltemperatur 50°C)

	Ölviskosität in mm^2/s			
	185	76,8...83,5	43...48	8...10
a_0	0,00	0,40	1,37	3,43
a_1	$0,02 \pi^{-1}$	$0,036 \pi^{-1}$	$0,045 \pi^{-1}$	$0,068 \pi^{-1}$

von den Panschverlusten bestimmt, die mit zunehmender Drehzahl und Ölviskosität ansteigen.

Die drehzahlabhängigen Verluste ohne Last (im Leerlauf) eines Getriebes des Traktors Ursus C-330 wurden von Skrobacki [13] ermittelt und folgende Gleichung für das Verlustmoment (Leerlaufmoment) gefunden (Tafel 3):

$$M_{V_0} = a_0 + a_1 n_M \quad (7)$$

5. Zusammenfassung

Als ein Ergebnis von energetischen Betrachtungen an Maschinen-Traktor-Aggregaten [30] wurde festgestellt, daß bis auf die einleitend vorgenommenen Einschätzungen [3, 4] über das energetische Verhalten von Traktorgetrieben wenig bekannt ist oder die Kenntnisse für die praktische Nutzung nicht ausreichend sind.

Aus diesem Grund wurde versucht, einen Überblicksbeitrag über den momentan erfaßbaren Kenntnisstand der Energiebeziehungen an Traktorgetrieben zu geben. Neben den damit möglichen Einschätzungen interessierender Bereiche lassen sich damit auch Hinweise für eine zweckmäßige Getriebebenutzung über Gang- und Drehzahlwahl ableiten, um z. B. die Übertragungsverluste in Getrieben so gering wie möglich zu halten.

Literatur

[1] Renius, K. T.: Neuere Getriebeentwicklungen bei Ackerschleppern. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 34 (1984) 3, S. 132–142.
[2] Jahns, G.; Steinkampf, H.: Einflußgrößen auf Flächenleistung und Energieaufwand beim Schleppereinsatz. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 32 (1982) 1, S. 20–27.
[3] VEB Traktorenwerk Schönebeck, Erprobung des ZT300. Versuchsbericht 17/1965.
[4] Splies, D.: Der Triebachsanhänger des VEB Traktorenwerk Schönebeck. Archiv für Landtechnik, Berlin 2 (1960) 3, S. 192–203.

[5] Renius, K. T.: Wirtschaftlichkeit und technische Weiterentwicklung des Ackerschleppers. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 31 (1981) 6, S. 212–217.
[6] Blumenthal, R., u. a.: Technisches Handbuch Traktoren. Berlin: VEB Verlag Technik 1983.
[7] Jante, A.: Kraftfahrtmechanik, Teil 1. Berlin: VEB Verlag Technik 1960.
[8] Stropfel, A.: Energie- und Arbeitszeitbedarf für gezogene Geräte der Bodenbearbeitung bei unterschiedlicher Schleppermotorauslastung. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 30 (1980) 4, S. 135–139.
[9] Rüdiger, A.; Engel, W.: Analytische Formulierung der Wirkungsgradkennfelder des Triebwerks eines Traktors ZT 300. Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim, Arbeitsmaterial 1981.
[10] Queitsch, K.: Regressionsanalyse zum Getriebewirkungsgrad des Traktors ZT300. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, unveröffentlichtes Manuskript 1983.
[11] Mertins, K.-H.: Theoretische und apparative Voraussetzungen zur Traktoreinsatzoptimierung mit Hilfe von Fahrerinformationssystemen. Fortschritts-Berichte Nr. 25. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1984.
[12] VEB Traktorenwerk Schönebeck, Abschlußbericht EB-Nr. 2/1983 (unveröffentlicht).
[13] Skrobacki, A.: Wpływ temperatury oleju na sprawność układu napędowego ciągnika rolniczego (Einfluß der Öltemperatur auf den Getriebewirkungsgrad eines Landwirtschaftstraktors). Maszyny i Ciągniki Rolnicze, Warszawa (1975) 6, S. 27–30.
[14] Steinkampf, H.: Auch vom Landwirt hängt es ab, wieviel Motorleistung in Zugleistung umgewandelt wird. DLG-Mitteilungen, Frankfurt (Main) 97 (1982) 6, S. 27–30.
[15] Steinkampf, H.; Sommer, C.; Zach, M.: Möglichkeiten der Einsparung beim Schleppereinsatz, insbesondere bei der Bodenbearbeitung. Landbauforschung, Völknerode (1979) Sonderheft 49, S. 42–55.
[16] Steinkampf, H.: Ermittlung von Reifenkennlinien und Gerätezugleistungen für Ackerschlepper. Landbauforschung, Völknerode (1975) Sonderheft 27.
[17] Leuschner, J.: Die voraussichtliche Entwick-

lung der Antriebstechnik für Maschinen der Feldwirtschaft. TU Dresden, Dissertation 1970.
[18] Schilling, E.: Landmaschinen, 1. Bd. Ackerschlepper. Rodenkirchen: Eigenverlag 1960.
[19] Kirtbaja, J. K.: Reserven bei der Verwendung von Maschinen-Traktor-Parks. Moskau: Verlag Kolos 1976.
[20] Biller, R. H.; Steinkampf, H.: Zur Leistungsübertragung beim Schlepper. Landtechnik, Lehrte (1976) 7/8, S. 340–344.
[21] Rothe, J.: Fahrtmechanik selbstfahrender Landmaschinen, Bd. 1. Leipzig: Institut für Landmaschinentechnik 1976.
[22] Queitsch, K.; Schulz, H.: Beitrag zur Erhöhung der energetischen Effektivität von Maschinen-Traktor-Aggregaten für die Bodenbearbeitung. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Teilforschungsbericht 1981.
[23] Heyde, H.: Mechanik des Schleppers. Dt. Agrartechnik, Berlin (1957) Sonderdruck, Hefte 1–4.
[24] Leffler, E.: Ermittlung von Auslastung und Verbrauchssenkung über die Zugkraft- und Kraftstoffverbrauchsmessung am Traktor ZT300. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Wissenschaftliche Abschlußarbeit 1979.
[25] Erler, G.: Ermittlung der Erwärmung und der Verluste bei der Schmierung von Zahnradgetrieben. Schmierungstechnik, Berlin 9 (1978) 5, S. 135–140.
[26] Malachovskij, V. È.: Issledovanie koefficienta poleznogo dejstvija traktornykh transmissij (Untersuchungen des Wirkungsgrades von Transmissionen bei Traktoren). NATI, Band 10. Moskau: Maßgiz 1954.
[27] Kiene, W.: Versuche mit Getriebeölen der Viskosität SAE 80 und SAE 90. Landtechnische Forschung, Düsseldorf 8 (1958) 1, S. 10–13.
[28] Skrobacki, A.: Wpływ oporów w układzie napędowym na ogólna sprawność ciągnika rolniczego (Einfluß der Widerstände im Antriebssystem auf den Gesamtwirkungsgrad eines Landwirtschaftstraktors). Landwirtschaftliche Akademie Warschau, Dissertation 1976.
[29] Mc Carthy, T. T.; Kolozsi, Z.: The Measurement of Tractor Transmission Losses (Messung von Traktorgetriebeverlusten). Journ. of Agric. Engineer. Res., London 19 (1974) 1, S. 71–75.
[30] Schulz, H.: Energetische Bedingungen beim Einsatz von Traktoren, dargestellt am Beispiel des Traktors ZT300. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1983.