

# Probleme der effizienten Umwandlung der Motorleistung in Zugleistung bei leistungsstarken Schleppern

Von Heinrich Steinkampf, Braunschweig-Völkenrode \*)

DK 631.372.012:629.114.2

Die Schlepper hoher Leistungsklassen werden bei der Bodenbearbeitung überwiegend für Zugarbeiten, und zwar für Dauerzugarbeiten eingesetzt. Bei der Umwandlung der Motorleistung in Gerätenutzleistung über die Triebräder treten im Gegensatz zur Leistungsumwandlung über die Zapfwelle sehr hohe Verluste auf, insbesondere im Laufwerk. Bei dem Trend zu abnehmendem Leistungsgewicht bei zunehmender Motorleistung werden zur effizienten Leistungsübertragung über die Triebräder höhere Fahrgeschwindigkeiten erforderlich. Da sich die Betriebseigenschaften von AS-Triebreifen auf Böden mit lockerer Oberfläche mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit verschlechtern, bietet vor allem bei Schleppern höherer Leistungsklassen der Einsatz von zapfwellengetriebenen Geräten besondere Vorteile.

## 1. Einleitung

Der Schlepper ist in der Feldwirtschaft nach wie vor die Kraft- und Leistungszentrale. Die heute auf dem Markt angebotenen Schlepper sind bis auf wenige Ausnahmen als Zugschlepper konzipiert. Sie bieten außerdem noch die Möglichkeit, größere Leistungen über die Zapfwelle abzugeben.

Die Konzeption der Schlepper als Zugschlepper, die auch bei den leistungsstarken Schleppern beibehalten wurde, ist hauptsächlich ausgerichtet auf die Ansprüche, die von Seiten der Bodenbearbeitung an sie gestellt werden.

Während in den übrigen Bereichen der Feldwirtschaft fast nur noch zapfwellengetriebene Geräte und Maschinen eingesetzt werden, deren Zugkraft- und Zugleistungsbedarf relativ klein oder sogar gleich Null ist, wird die Bodenbearbeitung noch überwiegend mit gezogenen Geräten durchgeführt.

Der Zwang zu höheren Flächenleistungen macht höhere Motorleistungen erforderlich. Die damit verbundenen Probleme, insbesondere die der Leistungsumwandlung, zwingen den Konstrukteur ständig zur Verbesserung des jeweiligen Standes wie auch zur Erarbeitung neuer Lösungsmöglichkeiten. Dabei lassen sich gerade bei der Leistungsumwandlung über die Triebräder obere Grenzen nur abschätzen. Mit zunehmender Motorleistung und damit zunehmenden Achslasten ist dies nicht nur ein technisches, sondern in hohem Maße auch ein ackerbauliches Problem.

## 2. Der Reifen als Mittel zur Zugkraftübertragung

Bei Überlegungen über eine effiziente bzw. eine effizientere Umwandlung der Motorleistung in Zugleistung steht das Triebrad als Mittel dazu im Vordergrund der Betrachtungen, insbesondere deshalb, weil in der Lauffläche des Rades der größte Teil der Verluste zwischen Motor und Gerät auftritt. Da außerdem Maßnahmen zur Verringerung der Verluste dort am wirkungsvollsten sind, wo die größten Verluste auftreten, soll im folgenden vorwiegend auf die Betriebseigenschaften von Reifen und die sich aus ihnen ergebenden Folgerungen für die Zugkraftübertragung eingegangen werden.

Vortrag im Rahmen des <Kolloquiums über Schleppertechnik> anlässlich des 75. Geburtstages von Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing.E.h. Helmut Meyer.

\*) Dipl.-Ing. Heinrich Steinkampf ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Betriebstechnik (Direktor: Professor Dr. agr. Sylvester Rosegger) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

### 3. Darstellung und Bewertung der Betriebseigenschaften von AS-Triebrifen

Es ist üblich, die Betriebseigenschaften von AS-Triebrifen, wie in Bild 1, in Abhängigkeit vom Schlupf darzustellen. Die Triebkraft-Schlupf-Kurve hat einen degressiven Verlauf, d.h. der Triebkraftzuwachs wird mit zunehmendem Schlupf geringer. Der Rollwiderstand  $R$ , der durch das Walken in der Aufstandsfläche und durch Verdrängen und Verdichten des Bodens in der Spur hervorgerufen wird, steigt mit zunehmendem Schlupf an.

Die Beurteilung der Reifen erfolgt meistens nach ihrem Triebkraft-Schlupf- und ihrem Rollwiderstands-Schlupf-Verlauf, wenn die Kennlinien direkt am Einzelrad ermittelt wurden. Werden die Versuche mit einem Schlepper durchgeführt, so kann nur der Zugkraft-Schlupf-Verlauf als Bewertungskriterium herangezogen werden. Da die Schlepper hoher Leistungsklassen überwiegend für Dauerzuarbeiten eingesetzt werden, rückt hier das Problem der bei der Zugkraftübertragung auftretenden Verluste stärker in den Vordergrund. Genügend große Zugkräfte, die kurzzeitig und damit ohne Rücksicht auf den Wirkungsgrad gefordert werden, z.B. beim Rücken von Anhängern in der Hackfruchternte, lassen sich im allgemeinen durch den Allradantrieb und das hohe Eigengewicht dieser Schlepper erzielen.

Die Verluste in der Lauffläche, die durch Schlupf und Rollwiderstand hervorgerufen werden, lassen sich durch den Laufwerk-Wirkungsgrad beschreiben, der das Verhältnis von Ausgangsleistung (Triebkraft  $T \cdot$  Fahrgeschwindigkeit  $v_1$ ) zu Eingangsleistung (Radmoment  $M \cdot$  Winkelgeschwindigkeit  $\omega$ ) am Einzelrad kennzeichnet und auch als Wirkungsgrad der Kraftübertragung bezeichnet wird. Er steigt im Bereich kleinen Schlupfes zunächst steil an bis zu einem Maximum und fällt dann mit zunehmendem Schlupf nahezu linear wieder ab.

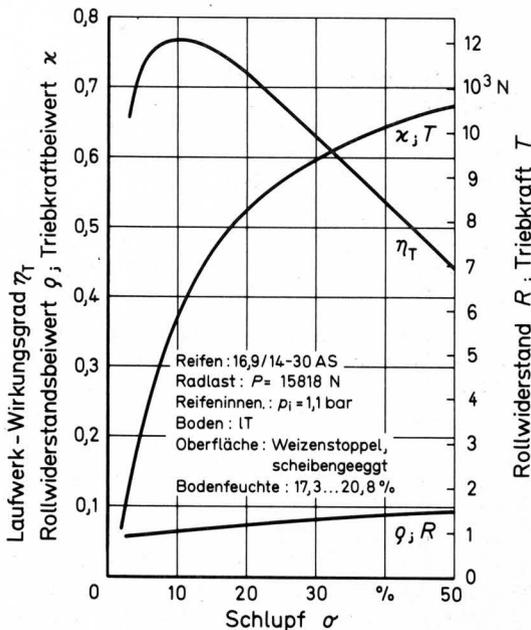


Bild 1. Kennlinien eines AS-Triebrifens in Abhängigkeit vom Schlupf.

Kurzbezeichnungen für die Bodenart:

- IT lehmiger Ton
- IS lehmiger Sand
- uL schluffig-toniger Lehm

Die zur Berechnung des Laufwerk-Wirkungsgrades notwendigen Ein- und Ausgangsleistungen am Einzelrad lassen sich am zweckmäßigsten mit Hilfe einer Einzelrad-Meßvorrichtung bestimmen. Im Institut für Betriebstechnik werden die Einsatzversuche mit AS-Triebrifen mit der in Bild 2 dargestellten Einzelrad-Meßvorrichtung durchgeführt, auf die an anderer Stelle schon näher eingegangen wurde [1; 2].



Bild 2. Einzelrad-Meßvorrichtung zur Ermittlung des Betriebsverhaltens von AS-Triebrifen unter natürlichen Einsatzbedingungen.

Wie hoch die Verluste in der Aufstandsfläche sind, kommt in Bild 3 noch besser zum Ausdruck. Im vorliegenden Fall betragen die Verluste bei 20 % Schlupf etwa 30 % der Eingangsleistung und sind damit etwa doppelt so hoch wie die Getriebeverluste, die bei Überschlagsrechnungen zu etwa 15 % angenommen werden können.

Die Wirkungsgradmaxima treten auf Böden mit trockener, tragfähiger Oberfläche nahezu unabhängig von der Bodenart zwischen 8 und 13 % Schlupf auf und erreichen Werte zwischen 70 und 80 %. Mit zunehmender Bodenfeuchtigkeit und Nachgiebigkeit des Bodens sinken die Wirkungsgradmaxima ab und verschieben sich in den Bereich größeren Schlupfes.

Der prinzipielle Verlauf wie auch die Höhe des Wirkungsgrades machen deutlich, daß er bei der Bewertung von AS-Triebrifen etwa gleichwertig neben der Triebkraft zu berücksichtigen ist.

Bei der Bewertung von AS-Triebrifen sind also zwei Bereiche von Interesse:

1. Der Bereich maximal übertragbarer Triebkräfte, wenn es darum geht, ein Festfahren zu vermeiden. Hier kommt dem Wirkungsgrad keine Bedeutung zu.
2. Der Bereich maximaler Wirkungsgrade für Dauerzuarbeiten.

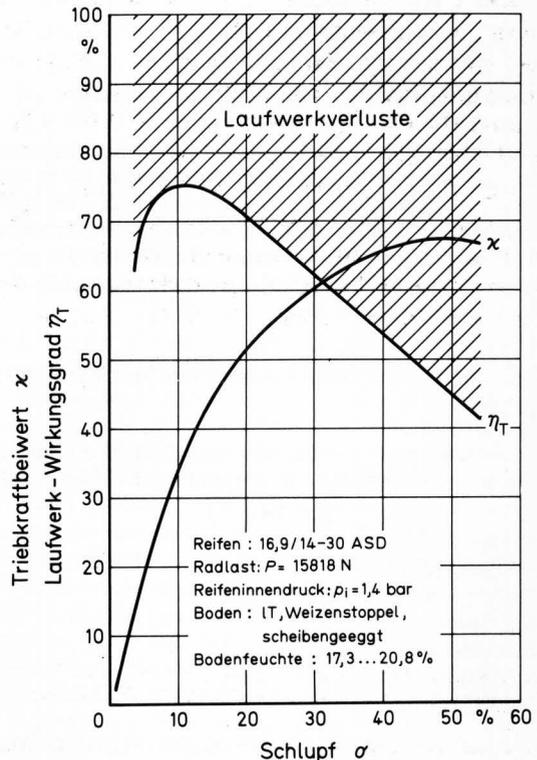


Bild 3. Laufwerkverluste eines AS-Triebrifens in Abhängigkeit vom Schlupf.

#### 4. Voraussetzungen für eine verlustarme Leistungsumwandlung

Es ist nicht zu erwarten, daß der Bereich maximaler Wirkungsgrade bei Dauerzugarbeiten eingehalten wird. Dazu wären relativ hohe Fahrgeschwindigkeiten erforderlich, weil in diesem Bereich auf gut befahrbaren Böden nur eine Triebkraft in der Größe von  $30 \div 40 \%$  der Radlast übertragen werden kann. Es sollte jedoch versucht werden, in einem Bereich optimaler Wirkungsgrade zu arbeiten, wenn ein Kompromiß geschlossen wird zwischen dem Verlust an Wirkungsgrad und dem Gewinn an Triebkraft.

Eine möglichst verlustarme Leistungsumwandlung setzt also zweierlei voraus:

1. einen guten Kennlinienverlauf der AS-Triebrreifen,
2. die richtige Wahl des Triebkraftbeiwertes oder auf den Schlepper bezogen die richtige Wahl des Zugkraftbeiwertes durch ausgewogene Zuordnung von Schlepper und Gerät.

#### 5. Einfluß von Rollwiderstand und Schlupf auf die Verluste

Bei Arbeiten zur Verbesserung der Betriebseigenschaften von AS-Triebrreifen ist zunächst zu analysieren, in welchem Maße Rollwiderstand und Schlupf den Laufwerk-Wirkungsgrad nach Verlauf und Größe beeinflussen. Ihr Einfluß auf die Verluste läßt sich nicht exakt trennen, weil sie sich gegenseitig beeinflussen. Auch können sie als sogenannte Rechengrößen, zu deren Berechnung der Rollradius erforderlich ist, meßtechnisch nicht direkt erfaßt werden. Die Rollwiderstands- und Schlupfverluste lassen sich jedoch formelmäßig trennen, wenn man den Laufwerk-Wirkungsgrad  $\eta_T$  als Funktion der Triebkraft, des Rollwiderstandes und des Schlupfes darstellt:

$$\eta_T = \frac{T}{T+R} (1-\sigma) ,$$

$$\eta_T = \frac{\kappa}{\kappa+\rho} (1-\sigma) .$$

Diese Schreibweise läßt zwei Nullpunkte bei  $T = 0$  und bei  $\sigma = 1$  erkennen. Gute Wirkungsgrade lassen sich nur erzielen, wenn das Verhältnis von Triebkraft zu Rollwiderstand groß ist und gleichzeitig auch der Wert des zweiten Gliedes groß ist. In Bild 4 ist der Anteil des ersten und zweiten Gliedes der Gleichung für einen vorliegenden Kennlinienverlauf mit eingetragen worden. Es ist zu erkennen, daß im Bereich kleinen Schlupfes der Einfluß des Rollwiderstandes und bei höherem Schlupf der Einfluß des Schlupfes überwiegt. Auch aus der Darstellung geht hervor, daß sich gute Wirkungsgrade nur bei kleinem Rollwiderstand und steilem Anstieg der Triebkraft erzielen lassen.

#### 6. Möglichkeiten zur Beeinflussung der Betriebseigenschaften

Von den Parametern, die die Betriebseigenschaften von AS-Triebrreifen beeinflussen, sind einige aus verschiedenen Gründen bedingt variierbar:

- Radlast,
- Reifennendruck,
- Reifenabmessung,
- Karkassenbauart,
- Stollenhöhe,
- Stollenwinkel und
- Stollenabstand.

Bodenzustand und -art müssen jedoch als gegeben hingenommen werden.

Mit zunehmender Motorleistung und somit zunehmendem Anspruch an Zugkraft und Triebachslast wird aus Gründen

- der erforderlichen Tragfähigkeit der Reifen,
- des Flächendruckes in der Aufstandsfläche,
- der Bodenverdichtung in größeren Bodentiefen,
- der maximal zulässigen Fahrzeugbreite,
- des Bedienungsraumes zwischen den Kotflügeln,
- der Schwerpunkthöhe des Schleppers,
- der Getriebebeanspruchung und
- der Wiederverdichtung gepflügten Bodens beim Fahren in der Furche

der Variationsspielraum bezüglich Radlast, Reifennendruck und Reifenabmessung schon weitgehend eingeschränkt. Variabel sind noch:

- Karkassenbauart,
- Stollenhöhe und
- Stollenwinkel.

Bezüglich des Einflusses des Stollenwinkels, der wegen der Selbstreinigungseigenschaften nur in einem gewissen Bereich variiert werden kann, ergeben sich nach Taylor [3] keine signifikanten Unterschiede.

Die Betriebseigenschaften lassen sich selbst durch Verbreiterung der Felgen kaum verbessern. Eigene Versuche mit gleichen Reifen auf verschiedenen breiten Felgen haben fast deckungsgleiche Kennlinien mit nicht einheitlicher Tendenz ergeben. Auch Taylor [4] kommt zu dem Ergebnis, daß der Einfluß der Felgenbreite minimal ist.

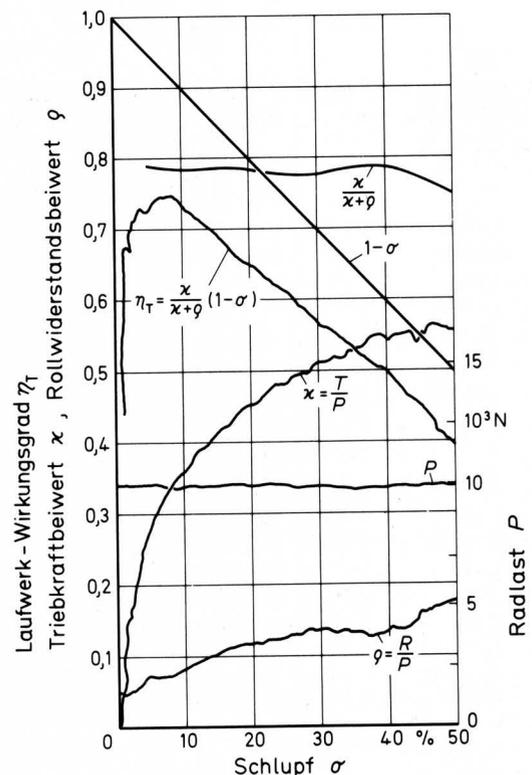


Bild 4. Darstellung des Anteiles von Rollwiderstand und Schlupf an den Laufwerkverlusten in Abhängigkeit vom Schlupf bei vorgegebenem Kennlinienverlauf eines AS-Triebrreifens.

Reifen: 16,9/14 - 30 ASD  
 Reifennendruck:  $p_1 = 1,4$  bar  
 Radlast:  $P = 9934$  N

Boden: lehmiger Sand  
 Bodenfeuchte: 11,4 %  
 Bodenoberfläche: Weizenstoppel

Die Stollenhöhe hat hingegen einen entscheidenden Einfluß auf die Betriebseigenschaften. Eigene Versuche mit konventionellen Reifen mit Farmerprofil und mit sogenannten Hochstollenreifen haben gezeigt, daß die Hochstollenreifen auf trockenen, gut befahrbaren Böden einen flacheren Triebkraft-Schlupf-Verlauf und schlechtere Laufwerk-Wirkungsgrade aufweisen, demgegenüber

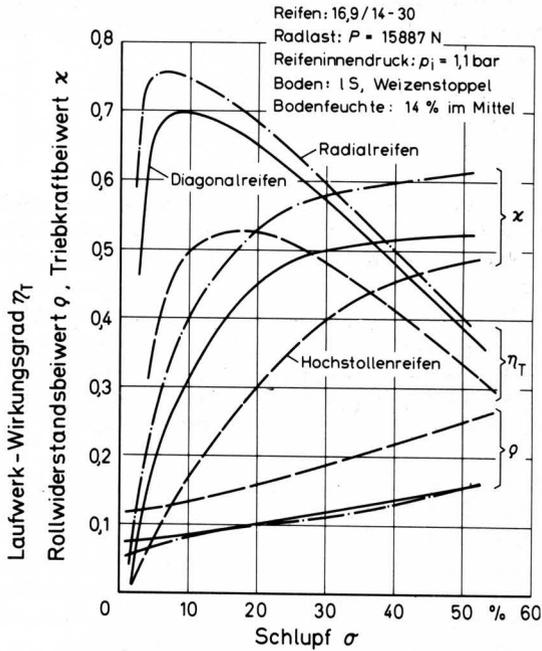


Bild 5. Kennlinienverlauf von AS-Triebrifen unterschiedlicher Bauart auf relativ trockenem, gut befahrbarem Boden in Abhängigkeit vom Schlupf.

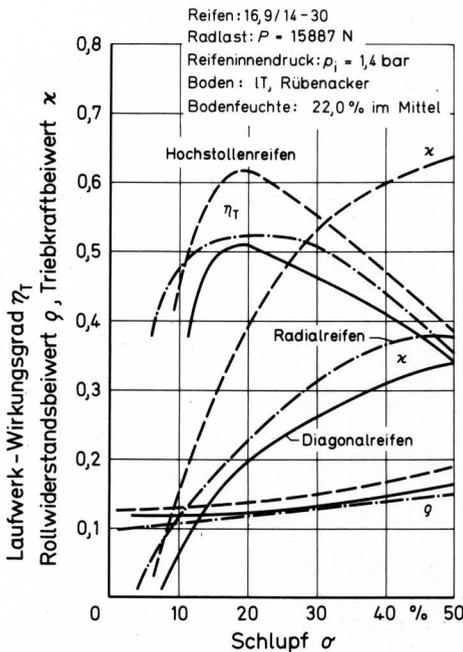


Bild 6. Kennlinienverlauf von AS-Triebrifen unterschiedlicher Bauart auf sehr nassem, schmierendem Boden in Abhängigkeit vom Schlupf.

auf sehr nassem, schmierendem Böden den konventionellen Reifen jedoch weit überlegen sind, Bild 5 und 6. Dies hat auch Drexl bei Zugkraftmessungen mit einem Schlepper festgestellt [5]. Hochstollenreifen lassen sich also unter erschwerten Einsatzbedingungen mit Vorteil einsetzen.

Weiterhin haben umfangreiche Versuche ergeben, daß AS-Triebrifen mit Radialkarkasse überwiegend bessere Betriebseigenschaften aufweisen als solche mit Diagonalkarkasse. Radialreifen sind den Diagonalreifen selbst auf sehr nassem, schmierendem Böden meistens noch überlegen, Bild 6, obwohl ihnen wegen der starren Lauffläche schlechtere Selbstreinigungseigenschaften zugeschrieben werden. Eine objektive Beurteilung kann jedoch nur nach den gemessenen Kenndaten erfolgen, zumal die Selbstreinigung hauptsächlich in der Aufstandsfläche durch seitliches Herauspressen des Bodens erfolgt.

Die Radialreifen haben unter sonst gleichen Einsatzbedingungen in der Regel einen steileren Anstieg des Triebkraftbeiwerts als die Diagonalreifen und somit die Eigenschaft, die neben kleinen Rollwiderstandsbeiwerten zur Erzielung guter Laufwerk-Wirkungsgrade erforderlich ist. Terpstra [6] hat bei Vergleichsversuchen mit Hochstollenreifen für Radialreifen ebenfalls bessere Triebkraft-Schlupf-Kurven ermittelt als für Diagonalreifen.

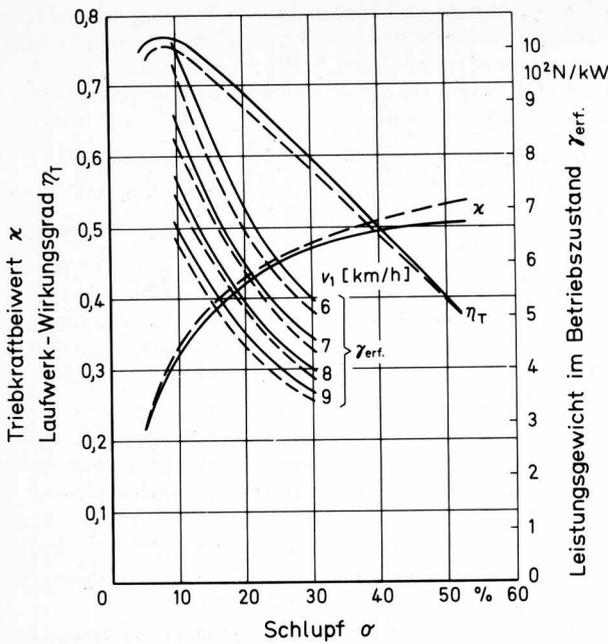
Die Möglichkeiten, die Betriebseigenschaften von AS-Triebrifen durch konstruktive Maßnahmen zu verbessern, sind also begrenzt, zumal sich diese oder jene Maßnahme je nach Bodenzustand positiv wie auch negativ auswirken kann, wie am Beispiel der Hochstollenreifen gezeigt wurde. Es ist kaum zu erwarten, daß sich die Betriebseigenschaften von universell einsetzbaren AS-Triebrifen noch wesentlich über das bisher Erreichte steigern lassen, wenn man berücksichtigt, daß die gleichen Reifen, die auf landwirtschaftlichen Fahrbahnen Wirkungsgrade bis zu 80 % erreichen, auf Asphalt Wirkungsgrade von 90 ÷ 92 % erzielen.

## 7. Leistungsgewicht und Fahrgeschwindigkeit

Bei dem Trend zu geringeren Leistungsgewichten bei zunehmender Motorleistung wird bei leistungsstärkeren Schleppern der Allradantrieb erforderlich, um die Motorleistung bei optimalen Wirkungsgraden und noch erträglichen Fahrgeschwindigkeiten in Zugleistung umwandeln zu können. Von welcher Motorleistung ab der Allradantrieb notwendig wird, bestimmt im wesentlichen das Leistungsgewicht und die Arbeitsgeschwindigkeit.

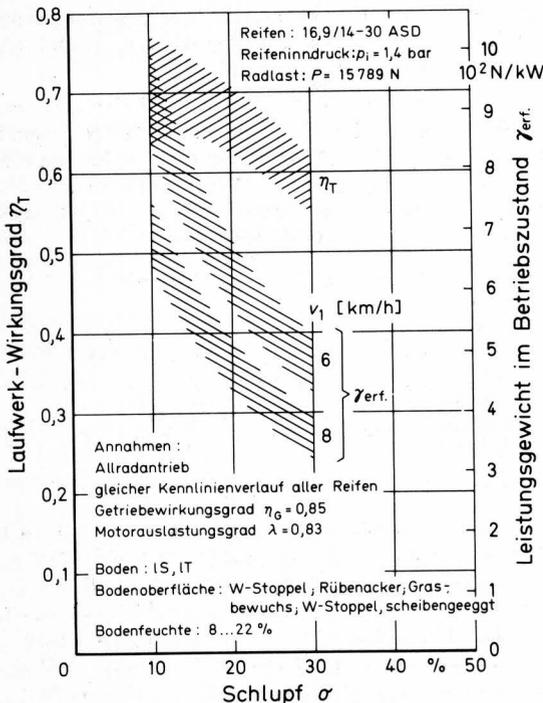
Bei vorgegebenem Kennlinienverlauf läßt sich für einen Allradschlepper das erforderliche Leistungsgewicht in Abhängigkeit vom Schlupf für verschiedene Arbeitsgeschwindigkeiten unter Berücksichtigung des Getriebewirkungsgrades  $\eta_G$  und des Motorauslastungsgrades  $\lambda$  berechnen, wenn vereinfachend ein gleicher Kennlinienverlauf für die Front- und Heckräder unterstellt wird.

In Bild 7 ist der Verlauf des erforderlichen Leistungsgewichtes für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten mit eingetragen worden. Bei dem vorliegenden Kennlinienverlauf ist unter den getroffenen Annahmen selbst bei 15 % Schlupf und einer Fahrgeschwindigkeit von 7 km/h noch ein Leistungsgewicht im Betriebszustand von mehr als 680 N/kW erforderlich. Für Reifenversuche mit einem 16,9/14-30 AS-Reifen auf trockenen Böden wie auch auf Böden, die sich vom Feuchtegehalt her noch für die Bodenbearbeitung eignen, ist der Streubereich der errechneten Leistungsgewichte für Fahrgeschwindigkeiten von 6 km/h und 8 km/h in Bild 8 über dem Schlupf aufgetragen worden. Bei 15 % Schlupf sind Leistungsgewichte von  $\gamma_{\text{erf}} = 710 \div 840 \text{ N/kW}$  bei einer Fahrgeschwindigkeit von 6 km/h und von  $\gamma_{\text{erf}} = 540 \div 640 \text{ N/kW}$  bei einer Fahrgeschwindigkeit von 8 km/h erforderlich; sie liegen also trotz der unterschiedlichsten Fahrbahnbedingungen in einem relativ engen Streubereich. Bei Stichproben aus Versuchen mit anderen Triebrifen mit Diagonalkarkasse lagen die Werte ebenfalls innerhalb des gezeigten Streubereiches. Es zeigte sich dabei, daß auf schweren Böden geringere Leistungsgewichte erforderlich sind als auf leichteren Böden.



**Bild 7.** Verlauf des im Betriebszustand erforderlichen Leistungsgewichtes  $\gamma_{\text{erf}}$  eines Allradschleppers mit der Fahrgeschwindigkeit  $v_1$  als Parameter in Abhängigkeit vom Schlupf  $\sigma$  bei vorgegebenem Triebkraftbeiwert-Schlupf-Verlauf und Laufwerk-Wirkungsgrad-Schlupf-Verlauf der AS-Triebrifen.

Reifen: 16,9/14 - 30 ASD      Boden: lehmiger Sand  
 Reifeninnendruck:  $p_1 = 1,4$  bar      Bodenoberfläche: Weizenstoppel  
 $p_1 = 1,1$  bar      Bodenfeuchte: 11,0 ... 12,8 %  
 Radlast:  $P = 15818$  N  
 Annahmen:  
 Allradantrieb  
 gleicher Kennlinienverlauf aller Reifen  
 Getriebewirkungsgrad  $\eta_G = 0,85$   
 Motorauslastungsgrad  $\lambda = 0,83$



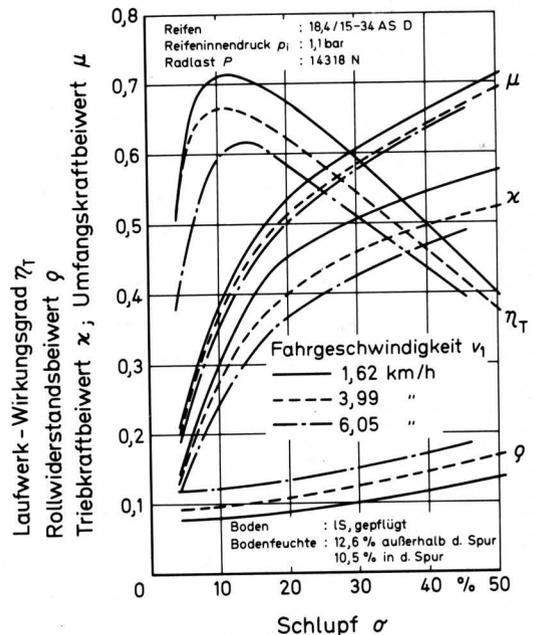
**Bild 8.** Streubereiche der errechneten Laufwerk-Wirkungsgrade  $\eta_T$  und der erforderlichen Leistungsgewichte  $\gamma_{\text{erf}}$  eines Allradschleppers bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Schlupf.

Der Zusammenhang zwischen Laufwerk-Wirkungsgrad, Triebkraftbeiwert, Fahrgeschwindigkeit und erforderlichem Leistungsgewicht im Betriebszustand läßt erkennen, welche Fahrgeschwindigkeiten notwendig werden, wenn die leistungsstarken Schlepper aus Gründen der Bodenschonung spezifisch noch leichter werden. Der Steigerung der Fahrgeschwindigkeit stehen u.a. die Nachteile der arbeitsphysiologischen Belastung des Schlepperfahrers und des überproportionalen Anstieges des spezifischen Zugwiderstandes von Bodenbearbeitungsgeräten mit nicht angetriebenen Werkzeugen gegenüber. Unberücksichtigt blieb bei derartigen Betrachtungen bisher der Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Betriebseigenschaften der Reifen.

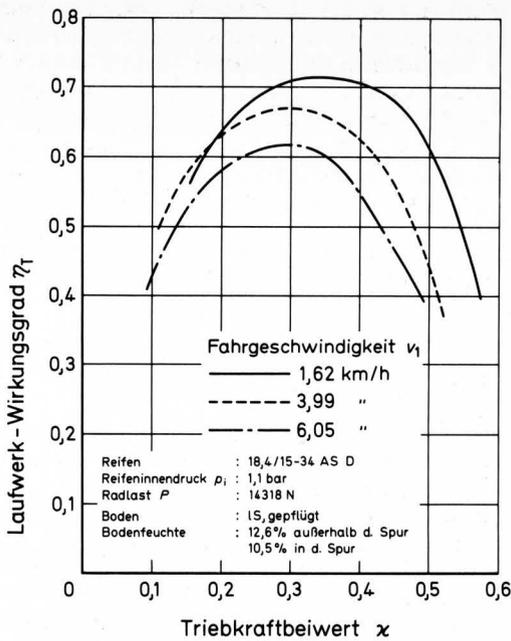
### 8. Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf die Betriebseigenschaften

Bisherige Versuche bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten unter sonst gleichen Einsatzbedingungen auf gepflügtem Boden zeigten, daß sich die Betriebseigenschaften der verwendeten Versuchsreifen mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit verschlechtern, **Bild 9** und **10**. Auf Böden mit fester Oberfläche ergaben sich jedoch keine signifikanten Unterschiede. Dies spricht zumindest auf lockeren Böden und damit hauptsächlich bei Arbeiten für die Saattbereitung neben anderen Nachteilen gegen zu hohe Fahrgeschwindigkeiten und ist bei Leistungsbilanzen mit zu berücksichtigen.

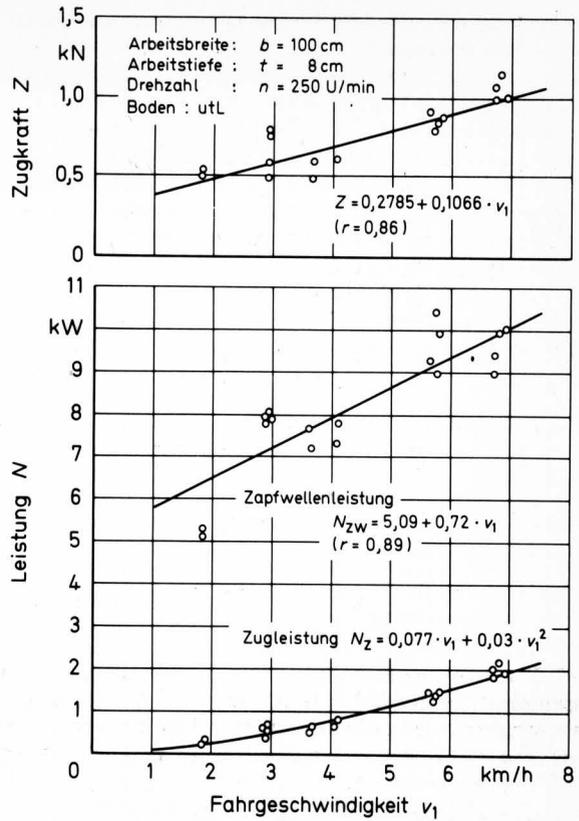
Mit steigenden Anforderungen an die Flächenleistung und damit an die Motorleistung wird es deshalb mehr und mehr erforderlich, den Schlepper bei der Bodenbearbeitung bezüglich der Zugkraft zu entlasten, um dadurch allzu hohe Achslasten zu vermeiden und Motorleistung und Schleppergewicht unabhängiger voneinander gestalten zu können. Dies ist u.a. zu erreichen durch Bodenbearbeitungsgeräte, deren Werkzeuge bezüglich Arbeitseffekt und Zugkraftbedarf für höhere Fahrgeschwindigkeiten ausgelegt sind oder aber angetrieben werden.



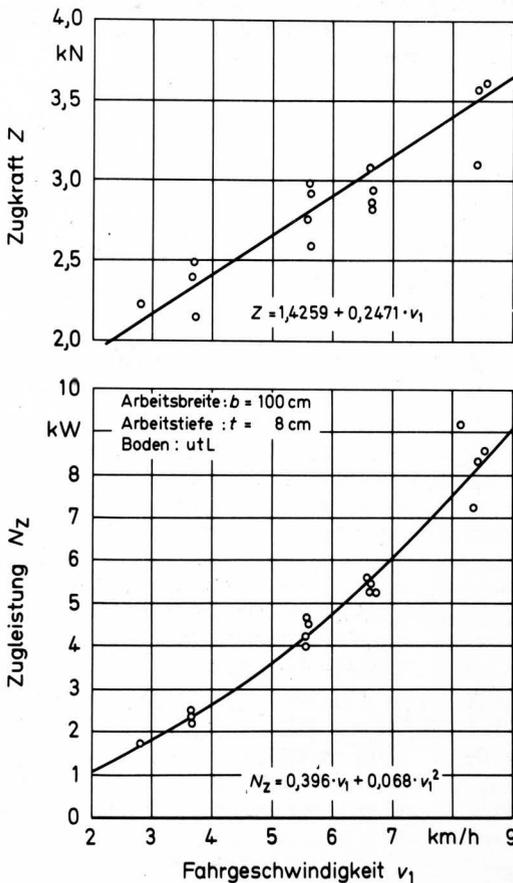
**Bild 9.** Kennlinienverlauf eines AS-Triebrifens bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Schlupf.



**Bild 10.** Wirkungsgrad der Kraftübertragung  $\eta_T$  eines AS-Triebreifens in Abhängigkeit vom Triebkraftbeiwert  $\alpha$  bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten.



**Bild 12.** Zugkraft-, Zugleistungs- und Zapfwellenleistungsbedarf einer Kreiselegge je Meter Arbeitsbreite in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v_1$ .



**Bild 11.** Zugkraft- und Zugleistungsbedarf eines Feingrubbers je Meter Arbeitsbreite in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v_1$ .

Eine erhebliche Zugkraftverringering lässt sich dabei durch Geräte mit angetriebenen Werkzeugen erzielen, wie z.B. mit dem Kreiselflug, der Rüttelegge, der Kreiselegge oder der Fräse. Der Zugkraftbedarf einer Kreiselegge je Meter Arbeitsbreite ist beispielsweise wesentlich geringer als der eines Feingrubbers unter sonst gleichen Einsatzbedingungen, **Bild 11 und 12**.

Hierzu ist jedoch einschränkend zu sagen, daß Geräte mit angetriebenen Werkzeugen, insbesondere die Fräse, nicht bei jedem Bodenzustand den erwünschten Arbeitseffekt erzielen. Ein weiterer Nachteil der Geräte mit angetriebenen Werkzeugen ist in den höheren Kosten für Anschaffung und Verschleiß zu sehen. Ihr Einsatz hat jedoch andererseits folgende Vorteile:

- die Fahrgeschwindigkeit kann in erträglichen Grenzen gehalten werden,
- der Krümelungseffekt ist meistens besser als der gezogener Geräte, insbesondere auf schweren Böden, dadurch können evtl. Arbeitsgänge eingespart werden,
- die Leistungsumwandlung über die Zapfwelle erfolgt bei besseren Wirkungsgraden als die über die Triebräder.

### 9. Gesamtverluste zwischen Motor und Gerät

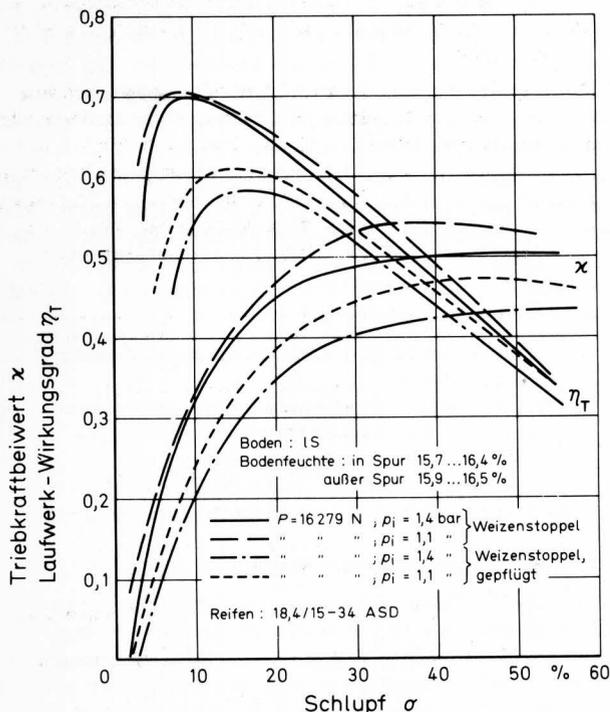
Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß sich bei Vergleichsversuchen mit gezogenen und zapfwellengetriebenen Geräten wegen der unterschiedlich hohen Verluste nur der Motorleistungsbedarf als Bewertungskriterium eignet, der für den Praktiker wie auch für Vergleichszwecke ohnehin in erster Linie von Interesse ist. Er errechnet sich aus dem Zugleistungsbedarf  $N_Z$  und dem Zapfwellenleistungsbedarf  $N_{ZW}$  der Geräte und den zwischen Motor und Gerät auftretenden Verlusten zu

$$N_M = \frac{N_Z}{\lambda \eta_T \eta_{GZ}} + \frac{N_{ZW}}{\lambda \eta_{GZW}}$$

Dabei kann das erste Glied der Gleichung wegen des lastabhängigen Getriebewirkungsgrades  $\eta_{GZ}$  des Schalt-, Gruppen- und Differentialgetriebes nur verwendet werden, solange die Zugleistung des Schleppers relativ hoch ist. Mit welchem Wert das Produkt der im Nenner stehenden Größen bei Überschlagsrechnungen anzusetzen ist, geht aus **Tafel 1** hervor. Dabei wurde nach Meyer [7] der Motorauslastungsgrad  $\lambda = 0,83$  und der Getriebewirkungsgrad des Fahrgetriebes  $\eta_{GZ} = 0,85$  unterstellt. Für das Zapfwelenge triebe, über das keine Verlustmessungen vorliegen, wurde ein Getriebewirkungsgrad  $\eta_{GZW} = 0,93$  unterstellt, um auf der sicheren Seite zu liegen. Für den Laufwerk-Wirkungsgrad  $\eta_T$  wurden aus einer Vielzahl von Reifenversuchen auf Böden mit relativ fester Oberfläche die bei 20 % Schlupf entnommenen Werte gemittelt [8].

Boden	Antrieb über	
	Zug $\lambda \eta_T \eta_G$	Zapfwelle $\lambda \eta_{GZW}$
schluffiger Sand	0,45	0,77
lehmiger Schluff	0,45	
sandig-toniger Lehm	0,50	

**Tafel 1.** Produkt aus Auslastungs- und Wirkungsgrad auf verschiedenen Böden bei der Leistungsumwandlung über die Triebräder bei 20 % Schlupf und bei der Leistungsumwandlung über die Zapfwelle.



**Bild 13.** Kennlinienverlauf eines AS-Triebreifens in Abhängigkeit vom Schlupf bei unterschiedlichem Reifeninnendruck und Boden-zustand.

Wie den Werten in **Tafel 1** zu entnehmen ist, muß die erforderliche Motorleistung etwa doppelt so hoch veranschlagt werden wie der Zugleistungsbedarf der Geräte, dagegen sind die Verluste bei der Leistungsumwandlung über die Zapfwelle wesentlich geringer.

Bei gezogenen Geräten für die Saatbettbereitung muß mit Werten von 0,4 und darunter gerechnet werden, weil auf Böden mit lockerer Oberfläche noch schlechtere Laufwerk-Wirkungsgrade erzielt werden, wie aus **Bild 13** zu erkennen ist.

## 10. Schlußfolgerungen

1. Mit wesentlichen Verbesserungen der Betriebseigenschaften von universell einsetzbaren AS-Triebreifen durch konstruktive Maßnahmen ist kaum zu rechnen.
2. Die Laufwerk-Wirkungsgrade geben einen optimalen Einsatzbereich an, in dem bei Dauerzugarbeiten gefahren werden sollte.
3. Eine Leistungsumwandlung über die Triebräder bei optimalen Laufwerk-Wirkungsgraden ist bei dem Trend zu weiter abnehmenden Leistungsgewichten mit zunehmender Motorleistung nur bei relativ hohen Fahrgeschwindigkeiten möglich.
4. Die Erzielung höherer Flächenleistungen über die Steigerung der Fahrgeschwindigkeit hat aus energetischer Sicht zwei Nachteile:
  - Zunahme des spez. Zugwiderstandes von Bodenbearbeitungsgeräten mit nicht angetriebenen Werkzeugen,
  - Verschlechterung der Betriebseigenschaften von AS-Triebreifen auf aufgelockerten Böden.

Aus diesen Gründen sollten bei dem Trend zu leistungsstärkeren Schleppern bei gleichzeitigem Zwang zu kleineren Leistungsgewichten die Bestrebungen, die Motorleistung für Bodenbearbeitungsgeräte mehr und mehr über die Zapfwelle abzugeben, allein schon aus Gründen der Zugkraftentlastung der Schlepper, verstärkt vorangetrieben werden.

## Schrifttum

- [1] Steinkampf, H.: Messung räumlich wirkender Kräfte zwischen Schlepper und Gerät. *Grundl. Landtechnik* Bd. 21 (1971) Nr. 3, S. 71/76.
- [2] Steinkampf, H.: Zur Methodik der Rollradien- und Rad-schlupfmessung. *Grundl. Landtechnik* Bd. 21 (1971) Nr. 2, S. 40/44.
- [3] Taylor, P.A.: Experimental studies of performance of tractor tyres. *Beiträge der Internationalen Konferenz "Entwicklungsperspektiven landwirtschaftlicher Schlepper"* vom 17. - 22. September 1973 in Warschau, Teil 2, S. 213/223.
- [4] Taylor, P.A.: Selection of the traction element. *Beiträge der Internationalen Konferenz "Entwicklungsperspektiven landwirtschaftlicher Schlepper"* vom 17. - 22. September 1973 in Warschau, Teil 1, S. 216/232.
- [5] Drexler, H.J.: Zugkraft-Vergleichsmessungen an Reifen unterschiedlicher Konstruktion. *Landtechnische Forschung* Bd. 18 (1970) H. 1, S. 2/5.
- [6] Terpstra, J.: Performance characteristics of deep lug tires. *Beiträge der Internationalen Konferenz "Entwicklungsperspektiven landwirtschaftlicher Schlepper"* vom 17. - 22. September 1973 in Warschau, Teil 1, S. 233/258.
- [7] Meyer, H.: Die Bedeutung des stufenlosen Getriebes für den Ackerschlepper und seine Geräte. *Grundl. Landtechnik* Heft 11 (1956) S. 5/12.
- [8] Zach, M., H. Steinkampf u. C. Sommer: Arbeitseffekt und Leistungsbedarf eines Kreiselpfluges. *Landbauforschung Völknerode* Bd. 23 (1973) H. 1, S. 29/40.