

DK 625.03:631.372.012

Die Zugfähigkeit von Ackerschleppern mit großer Motorleistung bei Hinterrad- und Allradantrieb

Von **Franz Josef Sonnen**, Braunschweig-Völkenrode¹⁾

Die Motorleistung der landwirtschaftlichen Schlepper ist in den vergangenen Jahren ständig gestiegen. Es wurde deshalb die Zugfähigkeit von Schleppern mit Hinterrad- und Allradantrieb bei verschiedenen Motorleistungen untersucht, um deren Einsatzbereiche bestimmen zu können. Dazu wurden Gleichungen über die Zugfähigkeit für die verschiedenen Schlepperbauarten aufgestellt und diese mit zum Teil bekannten Kenngrößen ausgewertet. Um einen sicheren Vergleich der Schlepperbauarten zu ermöglichen, wurden die so gewonnenen Werte für Zugkraft und Rollwiderstand auf die Motorleistung bzw. auf das Schleppergewicht bezogen. — Für die Motorleistungen von 60 und 90 PS wurden für bestimmte Triebkraftbeiwerte die möglichen Zugkräfte bestimmt und diese den bei Anhängern und Pflügen auftretenden Widerständen gegenübergestellt. Die Ergebnisse bestätigen den Einfluß von Stützkräften, die vom Gerät auf den Schlepper übertragen werden, auf die Zugfähigkeit. Sie zeigen ferner, daß auf leichten Böden mit geringem Pflugwiderstand die Zugfähigkeit von Schleppern mit großer Motorleistung nicht immer ausgenutzt werden kann und daß die Überlegenheit des Allradantriebes gegenüber dem Hinterradantrieb mit schlechter werdenden Bodenverhältnissen steigt.

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen für die Berechnung der Zugfähigkeit
- 3 Vergleich zwischen Hinterrad- und Allradantrieb
- 4 Motorleistung, Antriebsart und Zugfähigkeit großer Schlepper und Zugwiderstand entsprechend großer Geräte
- 5 Zusammenfassung
- 6 Schrifttum

1 Einleitung

Die erste Stufe der Motorisierung der Landwirtschaft wurde mit Schleppern verhältnismäßig geringer Motorleistung erreicht, seither ist sie bei Neuanschaffungen von Jahr zu Jahr gestiegen, so daß heute häufig Schlepper mit Motorleistungen von etwa 50 bis 60 PS anzutreffen sind [1]. Darüber hinaus besteht eine gewisse Nachfrage nach Schleppern mit Leistungen von etwa 100 PS; gelegentlich werden Wünsche nach größeren Einheiten geäußert.

¹⁾ Vorgetragen auf der VDI-Tagung Landtechnik in Braunschweig am 12. Oktober 1967.

Dipl.-Ing. Franz Josef Sonnen war wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Schlepperforschung (Direktor: Prof. Dipl.-Ing. Helmut Meyer, ab 1966 Prof. Dr. Sylvester Rosegger) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode. Die vorstehende Arbeit ist in dieser Zeit entstanden. Der Verfasser ist seit Januar 1967 Leiter der DLG-Prüfstelle für Landmaschinen in Braunschweig-Völkenrode.

Bei kleinen bis mittleren Motorleistungen der Schlepper können die benötigten Zugkräfte meist mit Hinterradantrieb erzielt werden. Zur Erhöhung der Zugsicherheit werden häufig Schlepper mit etwas größerer Motorleistung gekauft, deren Zugfähigkeit durch das gleichzeitig auch größere Gewicht größer ist [9]. Bei Motorleistungen von mehr als etwa 75 PS bringt diese Lösung nicht immer den erwarteten Erfolg. Daher wird mit zunehmender Motorleistung die Entscheidung dringender, ob und wann ein Schlepper mit Hinterrad- oder mit Allradantrieb ausgerüstet werden soll.

Die Leistungsfähigkeit der Schlepper hängt weitgehend davon ab, wie gut sie den jeweiligen Bedingungen, unter denen sie arbeiten müssen, angepaßt sind. Die tatsächliche Leistung ergibt sich aus der erreichten Zugkraft und der dabei gefahrenen Geschwindigkeit. Zur Erzielung hoher Zugkräfte muß das Produkt aus Triebachslast und Triebkraftbeiwert groß sein. Das kann für einen bestimmten Wert der Zugkraft entweder durch hohe Triebkraftbeiwerte und kleine Triebachslasten oder durch kleine Beiwerte und große Achslasten bzw. durch entsprechende Kombinationen von Zwischenwerten dieser beiden Größen erreicht werden, wenn man zunächst den Einfluß des Rollwiderstandes vernachlässigt. Hieraus geht hervor, daß man z. B. dann mit geringeren Triebachslasten auskommt, wenn man infolge günstiger Boden- und Klimaverhältnisse dauernd oder wenigstens in der eigentlichen Arbeitszeit mit verhältnismäßig hohen Triebkraftbeiwerten rechnen kann. Solche Voraussetzungen sind z. T. in ariden Gebieten gegeben, sie treffen jedoch nach den Ergebnissen des Instituts für Schlepperforschung zumindest für den norddeutschen Raum nicht zu. In mehr als 400 Feldversuchen, die in den vergangenen zehn Jahren zur Klärung mehrerer Einflußgrößen im Herbst auf sehr unterschiedlichen Böden und der Witterung entsprechenden Zuständen durchgeführt wurden, wurde gefunden, daß bei einem Schlupf von 15% nur die Hälfte der gemessenen Triebkraftbeiwerte größer als 0,36 war, daß also in 50% der Einsatzfälle die Beiwerte $\leq 0,36$ waren.

Die Triebachslast kann über den Wert bei Leergewicht hinaus durch Anbringung von Zusatzgewichten und durch die Übernahme von Stützkräften [13; 14] vergrößert werden, sie ändert sich außerdem unter der Wirkung der am Fahrzeug angreifenden Zug-, Brems-, Seiten- und Beschleunigungskräfte [19]. Bei Geräten, die Stützkräfte auf die Triebachse übertragen, kann unter sonst gleichen Verhältnissen die „eingebaute“ Triebachslast um diesen Betrag kleiner sein als bei Geräten ohne Stützkräfteübertragung [15].

Wegen der notwendigen Lenkfähigkeit und der Sicherheit gegen Überschlagen, auch unter der Wirkung der Zug-, Stütz- und Beschleunigungskräfte und des Fahrwiderstandes des Schleppers, ist eine gewisse Mindest-Vorderachslast notwendig [8]. Durch sie wird bei Schleppern mit Hinterradantrieb ein Rollwiderstand der Vorderachse bewirkt, der die nutzbare Zugkraft

verkleinert. Bei Schleppern mit Allradantrieb wird auch die die Belastung der Vorderachse zur Erzeugung der Vortriebskräfte ausgenutzt; damit wird die nutzbare Zugkraft vergrößert [5; 18; 19]. Aus früheren Untersuchungen ist bekannt, daß eine „Vorverformung“ des normalen Ackerbodens durch ein Rad mit

angenehnt gleichen Abmessungen und Lasten wie das nachfolgende dessen Triebkraftbeiwert erhöht, also zu einer Verbesserung der Zugfähigkeit führt; diese kann jedoch nur bei Allradantrieb mit gleich großen Vorder- und Hinterrädern und geeigneter Lastverteilung voll ausgenutzt werden [19].

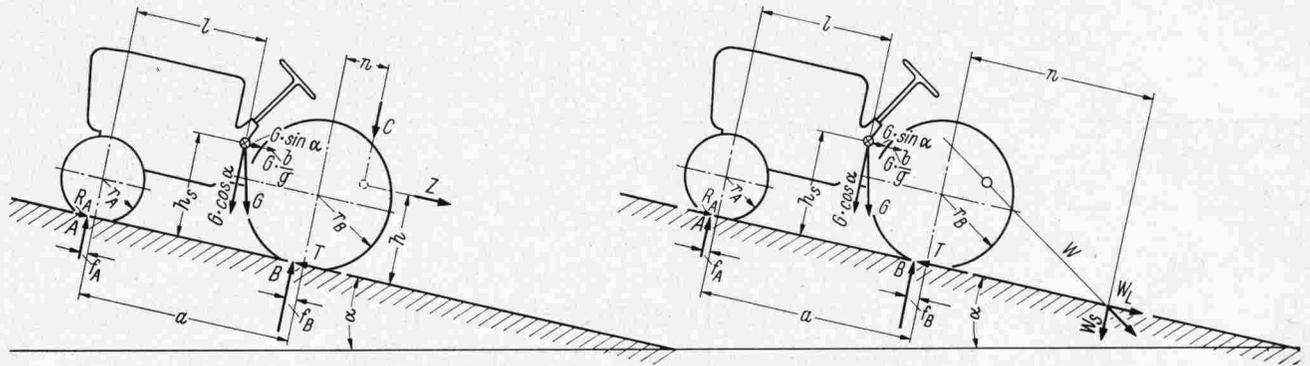


Bild 1 u. 2. Kräfte am ziehenden Schlepper beim Zug von Anhängern mit und ohne Stützlast (Bild 1) und bei der Arbeit mit Pflügen (Bild 2).

Nach Bild 1 ist die Hinterachslast im Betrieb:

$$B = \frac{G_S \left[\cos \alpha (l + f_A) + (\sin \alpha) h_S + \beta \frac{b}{g} h_S \right] + Z h + C (a + n + f_A)}{a + f_A - f_B} \quad (1)$$

Betrachtet man zur Erleichterung des Überblickes die nicht beschleunigte Fahrt in der Ebene ($b = 0$; $\alpha = 0$), so vereinfacht sich die Gleichung zu

$$B = \frac{G_S (l + f_A) + Z h + C (a + n + f_A)}{a + f_A - f_B} \quad (2)$$

mit $\frac{l + f_A}{a + f_A - f_B} = c_3$, $\frac{a + n + f_A}{a + f_A - f_B} = c_4$ und $\frac{h}{a + f_A - f_B} = c_2$

wird $B = G_S c_3 + Z c_2 + C c_4$ (3).

Die Zugkraft eines Schleppers mit Hinterradantrieb ergibt sich aus

$$Z = B \kappa_B - A \varrho_A \quad (4)$$

$$A = G_S + C - B \quad (5)$$

Mit Gl. (3) ergibt sich:

$$Z = G_S c_3 \kappa_B + Z c_2 \kappa_B + C c_4 \kappa_B - G_S \varrho_A - C \varrho_A + G_S c_3 \varrho_A + Z c_2 \varrho_A + C c_4 \varrho_A$$

also:

$$\frac{Z}{G_S} = \frac{c_3 (\kappa_B + \varrho_A) - \varrho_A}{1 - c_2 (\kappa_B + \varrho_A)} + \frac{C c_4 (\kappa_B + \varrho_A) - \varrho_A}{G_S (1 - c_2 (\kappa_B + \varrho_A))} \quad (6)$$

Die Zugkraft eines Schleppers mit Allradantrieb ergibt sich aus

$$Z = A \kappa_A + B \kappa_B \quad (7)$$

Mit den Gln. (3) und (5) erhält man

$$Z = G_S \kappa_A + C \kappa_A - G_S c_3 \kappa_A - Z c_2 \kappa_A - C c_4 \kappa_A + G_S c_3 \kappa_B + Z c_2 \kappa_B + C c_4 \kappa_B$$

also

$$\frac{Z}{G_S} = \frac{c_3 (\kappa_B - \kappa_A) + \kappa_A}{1 - c_2 (\kappa_B - \kappa_A)} + \frac{C c_4 (\kappa_B - \kappa_A) + \kappa_A}{G_S (1 - c_2 (\kappa_B - \kappa_A))} \quad (8)$$

Der Rollwiderstand eines Schleppers läßt sich ermitteln aus

$$R = A \varrho_A + B \varrho_B$$

Mit Gl. (5) wird

$$R = G_S \varrho_A + C \varrho_A - B \varrho_A + B \varrho_B$$

oder

$$\frac{R}{G_S} = \varrho_A + \frac{C}{G_S} \varrho_A + \frac{B}{G_S} (\varrho_B - \varrho_A) \quad (9)$$

Unter Verwendung der umgeformten Gl. (3) läßt sich schreiben

$$\frac{R}{G_S} = \varrho_A + c_3 (\varrho_B - \varrho_A) + \frac{Z}{G_S} c_2 (\varrho_B - \varrho_A) + \frac{C}{G_S} [\varrho_A + c_4 (\varrho_B - \varrho_A)] \quad (10)$$

Die rechnerische Umfangskraft kann unter Verwendung der Gln. (6) bzw. (8) und (9) bzw. (10) berechnet werden zu

$$\frac{U}{G_S} = \frac{Z}{G_S} + \frac{R}{G_S} \quad (11)$$

Die mögliche Fahrgeschwindigkeit bei bekannter Motorleistung — oder die notwendige Fahrgeschwindigkeit, um die vorhandene Motorleistung ausnutzen zu können — kann mit Hilfe der Umfangskraft ermittelt werden aus

$$v^* = \frac{N \cdot 270 \eta \lambda}{U} \quad (12)$$

Verwendete Formelzeichen

A_0	kp	Vorderachslast des Schleppers im Stand
B_0	kp	Hinterachslast des Schleppers im Stand
A, B	kp	Betriebsachslasten des Schleppers
C	kp	senkrecht zur Fahrbahn wirkende äußere Kraft, z. B. Stützlast an der Anhängerkupplung
$G_S = mg$	kp	Gewichtskraft des Schleppers
k	kp/dm ²	Grundwert des spezifischen Bodenwiderstandes
m	kg	Masse des Schleppers
m_{red}	kg	auf Radumfang reduzierte rotierende Massen
N	PS	Motorleistung
$R = G_S \epsilon_S$	kp	Rollwiderstand des Schleppers
$R_A = A \varrho_A$	kp	Rollwiderstand der Vorderräder
$R_B = B \varrho_B$	kp	Rollwiderstand der Hinterräder
T	kp	Triebkraft
		bei Hinterradantrieb $T = T_B = Z + R_A + G_S \sin \alpha + G_S b/g \beta$
		bei Allradantrieb $T = T_A + T_B$
U	kp	gesamte rechnerische Umfangskraft an den Triebrädern eines Schleppers
W	kp	Zugwiderstand eines Gerätes
W_L	kp	Längskraftkomponente des Zugwiderstandes
W_S	kp	zur Fahrbahn senkrecht stehende Komponente des Zugwiderstandes
w_L	kp/dm ²	spezifischer Pflugwiderstand
Z	kp	parallel zur Fahrbahn verlaufende Zugkraft
a	mm	Radstand
b	m/s ²	Beschleunigung
$f_A = \varrho_A r_A$	mm	Hebelarm des Rollwiderstandes bei A
$f_B = \varrho_B r_B$	mm	Hebelarm des Rollwiderstandes bei B
g	m/s ²	Erdbeschleunigung
h	mm	Höhe der Zugkraft über der Fahrbahn
h_S	mm	Schwerpunkthöhe
l	mm	Abstand des Schwerpunktes von der Vorderradmitte
n	mm	Abstand der Wirkungslinie der Kraft C von der Hinterradmitte
r_A	mm	wirksamer Halbmesser des Vorderrades
r_B	mm	wirksamer Halbmesser des Hinterrades
v	m/s	Fahrgeschwindigkeit
v^*	km/h	erzielbare Fahrgeschwindigkeit bei gegebener Motorleistung N in Abhängigkeit von der Umfangskraft U
α	Grad	Steigungswinkel; bei Gefälle — α
$\beta = \frac{m + m_{red}}{m}$	—	Verhältnis der rotierenden und translatorisch bewegten Massen
ϵ	—	Kennzahl des dynamischen Gliedes des spezifischen Pflugwiderstandes für die verschiedenen Pflugkörperformen
η	—	Wirkungsgrad der Leistungsübertragung (Nabenleistung: Motorleistung)
κ	—	Triebkraftbeiwert
κ_B^*	—	Triebkraftbeiwert des hinterradangetriebenen Schleppers; gleichzeitig Leitwert für die in Tafel 1 jeweils in der Zeile aufgeführten Triebkraft- und Rollwiderstandsbeiwerte
λ	—	Belastungsgrad des Motors
ϱ_A	—	Rollwiderstandsbeiwert der Vorderräder
ϱ_B	—	Rollwiderstandsbeiwert der Hinterräder

2 Grundlagen für die Berechnung der Zugfähigkeit

Um ein Bild über den Einfluß der verschiedenen Faktoren zu erhalten, wurden, aufbauend auf die bereits früher [19] angegebenen Gleichungen, Formeln für die Zugfähigkeit der verschiedenen Schlepperbauarten entwickelt. Dabei wurde von den in **Bild 1** angegebenen Bezeichnungen für Kräfte und Längen ausgegangen und die Auswertung auf die Fahrt in der Ebene beschränkt. Der dargestellte Kraftangriff gilt für den Zug von Anhängern mit und ohne Stützlast. Für die Arbeit mit Pflügen gilt **Bild 2**, in dem die Widerstandskraft W des Pfluges in der Aufstandsebene des Schleppers in ihre Komponenten W_S und W_L zerlegt wurde; dabei sind W_S der Stützkraft C und W_L der Zugkraft Z gleichzusetzen. Bei dieser Aufteilung verursacht die Zugkraft $Z = W_L$ keine zusätzliche Hinterachsbelastung; diese wird nur durch die Kraft $W_S = C$ verursacht, die am Hebelarm n angreift.

Es wurde die Zugfähigkeit zunächst als eine auf das Schlepper-gewicht bezogene Kenngröße Z/G_S berechnet, die sich sehr gut für den Vergleich verschiedener Schlepperbauarten eignet. Infolge des Ein- bzw. Zweiachs-antriebes ergeben sich verschiedene, aber ähnliche Formeln für Hinterrad- und Allrad-antrieb, Gln. (6) und (8). Für die Ermittlung der Fahrgeschwindigkeit des Schleppers, die bei einer bestimmten Motorleistung möglich bzw. erforderlich ist, um diese auszuschöpfen, müssen die Achslastverteilung und die Rollwiderstände von Vorder- und Hinterachse bekannt sein, Gln. (9), (11) und (12), ferner die Werte für das Leistungsgewicht in kp/PS, für den Wirkungsgrad der Leistungsübertragung und für die Belastbarkeit des Motors.

Für die Auswertung der Gleichungen wurden Kenngrößen benutzt, die im Institut für Schlepperforschung erarbeitet worden sind. Die Angaben über die Stützlasten von Pflügen und deren Hebelarme bezüglich der Hinterachse sind Ergebnisse der Untersuchungen von *Skalweit* [14; 15], die über die Triebkraft- und Rollwiderstandsbeiwerte stammen aus den Arbeiten von *Bock* [2; 3], *Lange* [7] und aus eigenen Versuchen, während die Werte über die Belastbarkeit von Motoren aus den Arbeiten von *Seifert* [12] und *Coenenberg* [4] hervorgegangen sind. Die bei der Berechnung verwandten Kenngrößen sind in **Tafel 1** zusammengestellt. In ihr sind als Leitwerte die Triebkraftbeiwerte κ_B^* des Schleppers mit Hinterradantrieb angegeben, ihnen zugeordnet sind die Triebkraft- und Rollwiderstandsbeiwerte der Schlepper mit Allradantrieb, die nach den Versuchen im Mittel zu erwarten sind. Die Gewichtsverteilung im Stand ist in der Kenngröße c_3 enthalten; sie entspricht häufig anzutreffenden Auslegungen. Dies gilt auch für die Höhe h der Anhänger-kupplung zum Zug von Anhängern. Die Stützlasten von Anbaupflügen liegen in der Größenordnung von etwa 20 bis 24% des Schleppergewichtes, auch bei Sattelpflügen können sie sich in dieser Größenordnung bewegen [6].

Tafel 1. Zur Berechnung der Zugfähigkeit benutzte Kenngrößen.

Triebkraftbeiwert κ				Rollwiderstandsbeiwert q							
vorn		hinten		vorn		hinten		vorn		hinten	
0,30	0,24	0,30	0,30	0,35	0,24	0,15	0,20	0,13	0,16	0,11	
0,35	0,29	0,35	0,35	0,40	0,21	0,13	0,17	0,12	0,13	0,10	
0,45	0,38	0,45	0,45	0,50	0,16	0,10	0,13	0,09	0,10	0,08	
0,60	0,54	0,60	0,60	0,63	0,10	0,06	0,09	0,06	0,06	0,05	

Längenverhältnisse:

$c_2 = 0,32$ für Zug von Zweiachsanhängern
 $= 0$ für Zug von Anbaupflügen

$c_3 = 0,625$ Schlepper mit Hinterradantrieb

$= 0,58$ Schlepper mit Allradantrieb, kleine Vorder- und große Hinterräder

$= 0,4$ Schlepper mit Allradantrieb, gleich große Vorder- und Hinterräder

$c_4 = 1,75$ bei $C/G_S = 0,19$

$= 1,725$ bei $C/G_S = 0,213$

$= 1,7$ bei $C/G_S = 0,238$

3 Vergleich zwischen Hinterrad- und Allradantrieb

Die auf das Gewicht bezogene Zugkraft Z/G_S ist in **Bild 3** in Abhängigkeit vom Triebkraftbeiwert für Schlepper mit Hinterrad- und Allradantrieb aufgetragen. Die Ergebnisse gelten für den ziehenden Schlepper ohne Übertragung von Stützkraften, also $C/G_S = 0$, wie zum Beispiel beim Zug von Vierradanhängern. Sie bestätigen die bekannte Tatsache, daß durch Allradantrieb die Zugfähigkeit wesentlich verbessert wird, auch dann, wenn die angetriebenen Vorderräder kleiner als die Hinterräder sind. In **Bild 4** ist das Verhältnis der Zugkräfte der Schlepper mit Allradantrieb zu denen eines mit Hinterradantrieb dargestellt. Hier wird gerade bei ungünstigen bis mittleren Bodenverhältnissen die Überlegenheit des Allradantriebes deutlich, sie ist aber auch bei günstigen Verhältnissen ($\kappa = 0,6$) mit etwa 30% noch so groß, daß man zur Erzielung großer Zugkräfte sich nicht mit dem Hinterradantrieb allein bescheiden kann.

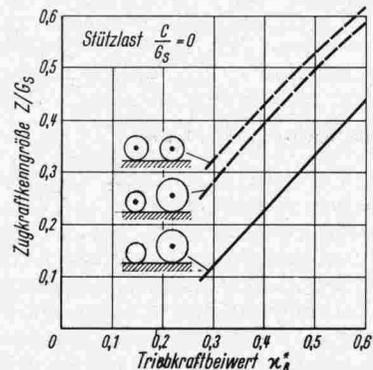


Bild 3. Zugkraftkenngröße Z/G_S in Abhängigkeit vom Triebkraftbeiwert κ_B^* für den ziehenden Schlepper ohne Übertragung von Stützkraften ($C/G_S = 0$) bei Hinterrad- und Allradantrieb.

Die Zugkraftkenngrößen sind mit Hilfe der Triebkraftbeiwerte in **Tafel 1** errechnet und über dem (für den Hinterradantrieb gültigen) Leitwert κ_B^* aufgetragen, um die drei Schlepperbauarten unter gleichen Bodenverhältnissen miteinander vergleichen zu können.

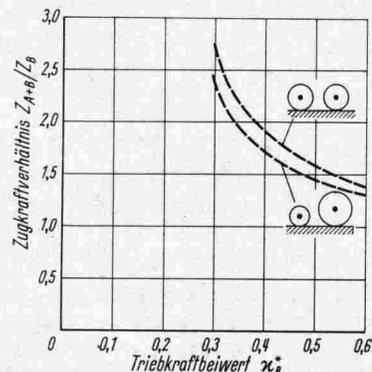


Bild 4. Zugkraftverhältnis zwischen allrad- und hinterrad-angetriebenen Schleppern in Abhängigkeit vom Triebkraftbeiwert κ_B^* .

Z_{A+B} Zugkraft der Schlepper mit Allradantrieb

Z_B Zugkraft der Schlepper mit Hinterradantrieb

κ_B^* Triebkraftbeiwert des hinterradangetriebenen Schleppers (siehe **Tafel 1**)

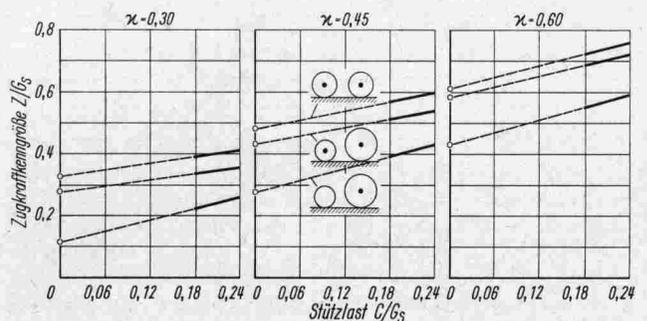


Bild 5. Die auf das Schleppergewicht bezogene Zugleistung Z/G_S in Abhängigkeit von der durch ein angebautes Gerät auf den Schlepper wirkenden Stützlast C/G_S für die drei Schlepperbauarten und drei verschiedene Triebkraftbeiwerte κ .

Den Einfluß der Zusatzbelastung C/G_S durch ein angebautes Gerät auf die Zugfähigkeit des Schleppers zeigen die in **Bild 5** für Triebkraftbeiwerte von 0,3; 0,45 und 0,6 dargestellten Ergebnisse. Eingezeichnet sind die Zugkraft Z/G_S bei $C/G_S = 0$ und für den in der Praxis interessierenden Bereich von 0,18 bis 0,24. Mit steigender Stützlast steigt sowohl bei Schleppern mit Hinterrad- wie mit Allradantrieb die Zugfähigkeit, selbstverständlich unter der Voraussetzung, daß die Reifen der Last gewachsen sind.

Über die notwendige Größe des Leistungsgewichtes ist in den vergangenen Jahren häufig diskutiert worden. In **Bild 6** ist für die drei Schlepperbauarten die auf die Motorleistung bezogene Zugkraft in kp/PS in Abhängigkeit vom Leistungsgewicht für verschiedene Triebkraftbeiwerte dargestellt. Für den Triebkraftbeiwert $\kappa = 0,6$ sind drei Zugkraftlinien für Stützlasten von $C/G_S = 0; 0,19$ und $0,238$ eingetragen. Für die Triebkraftbeiwerte 0,3 und 0,45 wurde auf die Eintragung der Werte für die Stützlasten $C/G_S = 0,19$ und $0,238$ verzichtet, weil diese beiden Linienzüge jeweils etwa mit der Zugkraftlinie des um 0,15 höheren Triebkraftbeiwertes bei $C/G_S = 0$ zusammenfallen. Das Leistungsgewicht beeinflusst zusammen mit dem Triebkraftbeiwert die Zugfähigkeit sehr stark. Besonders augenfällig ist dies bei Hinterradantrieb, bei dem z. B. bei einem Leistungsgewicht von 60 kp/PS und einem unter feuchter Herbstwitterung häufig anzutreffenden Triebkraftbeiwert von 0,3 nur eine Zugkraft von 7 kp/PS für den Zug von Vierradanhängern erwartet werden kann. Das Bild läßt klar erkennen, daß große Zugkräfte entweder hohe Leistungsgewichte oder Allradantrieb oder eine Kombination beider Maßnahmen verlangen, da das Leistungsgewicht nicht beliebig erhöht werden kann und seine Zunahme auch den Rollwiderstand vergrößert.

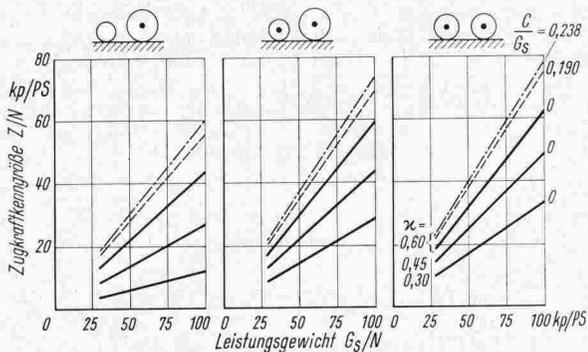


Bild 6. Die auf die Motorleistung bezogene Zugkraft Z/N in Abhängigkeit vom Leistungsgewicht G_S/N für die drei Schlepperbauarten und drei verschiedene Triebkraftbeiwerte κ .

Neben der Kenntnis der Zugfähigkeit ist es wichtig zu wissen, mit welcher Fahrgeschwindigkeit bei bestimmten Zugkräften gearbeitet werden kann bzw. muß, um die Motorleistung ausnutzen zu können. In **Bild 7** ist für Schlepper mit Hinterrad- und Allradantrieb diese Abhängigkeit über dem Leistungs-

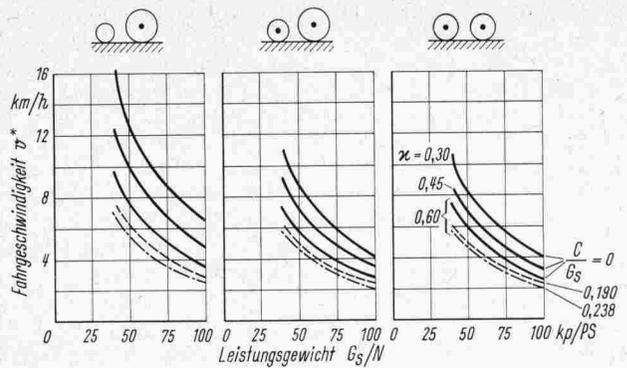


Bild 7. Fahrgeschwindigkeit bei voller Ausnutzung der Motorleistung in Abhängigkeit vom Leistungsgewicht G_S/N für die drei Schlepperbauarten und drei Stützlastfaktoren C/G_S .

gewicht aufgetragen, wobei Triebkraftbeiwerte und Stützlastfaktoren als Parameter angegeben sind. Für den Triebkraftbeiwert $\kappa = 0,6$ sind drei Geschwindigkeits-Linienzüge für die Stützlasten $C/G_S = 0; 0,19$ und $0,238$ eingetragen. Für die Triebkraftbeiwerte 0,3 und 0,45 wurde auf die Eintragung der Werte für die Stützlasten $C/G_S = 0,19$ und $0,238$ verzichtet, weil diese beiden Linienzüge jeweils etwa mit der Geschwindigkeitslinie des um 15° höheren Triebkraftbeiwertes bei $C/G_S = 0$ zusammenfallen. Schlepper mit Hinterradantrieb müssen bei kleinem Leistungsgewicht und ungünstigen bis mittleren Triebkraftbeiwerten zum Ausnutzen der Motorleistung bei der möglichen Zugfähigkeit so schnell fahren, daß häufig entweder dem Fahrer die Arbeit auf dem Schlepper wegen der möglichen Gesundheitsschädigung nicht zugemutet werden kann [10, 11] oder die Arbeitsqualität der Geräte nicht mehr genügt. Bei Schleppern mit Allradantrieb kann die Motorleistung schon bei wesentlich geringerer Fahrgeschwindigkeit übertragen werden.

4 Motorleistung, Antriebsart und Zugfähigkeit großer Schlepper und Zugwiderstand entsprechend großer Geräte

Nach diesen im Rahmen der genannten Voraussetzungen allgemeingültigen Aussagen soll im folgenden auf die Zugfähigkeit von Schleppern mit Motorleistungen von 60 und 90 PS eingegangen werden. In **Bild 8** sind in Abhängigkeit vom Leistungsgewicht für die Triebkraftbeiwerte von 0,3; 0,45 und 0,6 sowie für Stützlastfaktoren von 0,19 und 0,238 die möglichen Zugkräfte dargestellt, die bei Hinterrad- bzw. Allradantrieb erreicht werden können. Bemerkenswert ist, daß bei ungünstigen bis mittleren Triebkraftbeiwerten der 60-PS-Schlepper mit Allradantrieb (kleine Vorderräder) bessere bzw. gleiche Zugkräfte liefert wie der 90-PS-Schlepper mit Hinterradantrieb; erst bei günstigen Triebkraftbeiwerten ist die Zugfähigkeit des 90-PS-Schleppers mit Hinterradantrieb größer als die des mit 60 PS und Allradantrieb. Daher kann es, wenn hohe Zugfähigkeit bei schwierigen Bodenverhältnissen verlangt wird, günstiger

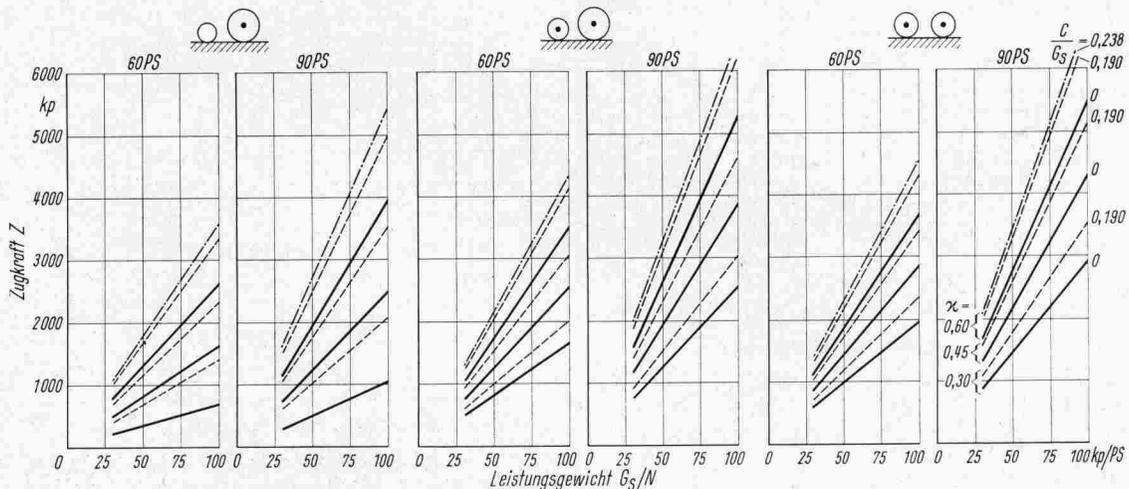


Bild 8. Zugkraft Z von hinterrad- und allradangetriebenen Schleppern mit 60 bzw. 90 PS Motorleistung in Abhängigkeit vom Leistungsgewicht G_S/N bei verschiedenen Triebkraftbeiwerten und Stützlasten.

sein, einen Schlepper mit zusätzlich angetriebener Vorderachse anzuschaffen als einen mit größerer Motorleistung. Die Zugkräfte von Schleppern mit Allradantrieb und gleich großen Vorder- und Hinterrädern liegen noch etwas günstiger als die bei Schleppern mit großen Hinterrädern und kleineren angetriebenen Vorderrädern. Die zuletzt genannte Ausführung wird jedoch bevorzugt gebaut, weil sich bei ihr geringere Schwierigkeiten bezüglich des Lenkungseinschlages und geringere Abweichungen gegenüber dem „Normalschlepper“ ergeben.

Die Angaben über die möglichen Zugkräfte der einzelnen Schlepperausführungen lassen sich erst dann beurteilen, wenn ihnen häufig auftretende Zugwiderstände gegenübergestellt werden. In **Bild 9** sind als Streubänder die Rollwiderstände von landwirtschaftlichen Zweiachsanhängern mit Nutzlasten von 5 bzw. 8 t bei Rollwiderstandsbeiwerten von 0,15 bis 0,2 eingetragen. Die Rechnung ergibt das auch im praktischen Einsatz häufig genug gefundene Resultat, daß bei schwierigen Bodenverhältnissen, die geringe Triebkraftbeiwerte und große Rollwiderstandsbeiwerte zur Folge haben, Normalschlepper mit 60 PS kaum oder nicht in der Lage sind, einen beladenen 5-t-Anhänger vom Felde zu ziehen. Um unter den gleichen Verhältnissen einen 8-t-Wagen abfahren zu können, muß ein 90-PS-Schlepper in Normalausführung eingesetzt werden. Wird ein Schlepper mit Allradantrieb zum Ziehen benutzt, so genügt unter den gleichen Verhältnissen für den 8-t-Anhänger eine Motorleistung von 60 PS.

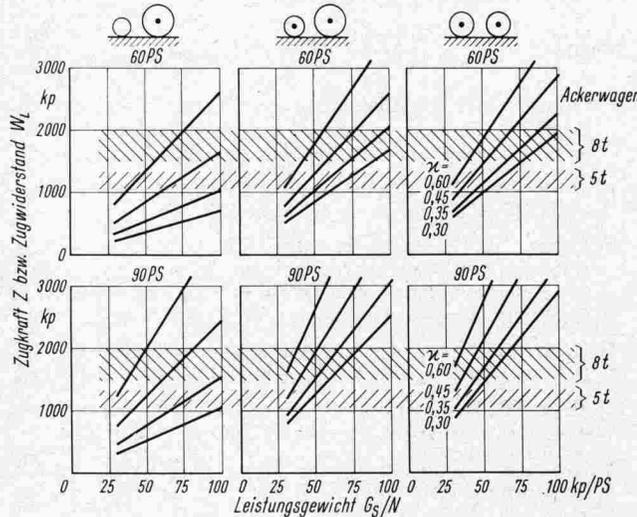


Bild 9. Zugfähigkeit von 60- und 90-PS-Schleppern bei der Stützlast von $C/G_s = 0$ in Abhängigkeit vom Leistungsgewicht G_s/N im Vergleich zu Rollwiderständen für Zweiachsanhänger für 5 bzw. 8 t Nutzlast bei Rollwiderstandsbeiwerten von 0,15 bis 0,2.

Schlepper mit Motorleistungen von 60 bis 90 PS werden nicht nur für schwere Transportarbeit, sondern vornehmlich für das Pflügen eingesetzt. In **Bild 10** sind die möglichen Zugkräfte bei einem Stützlastfaktor von 0,19 und die Widerstandslinien für Pflüge mit unterschiedlicher Scharzahl bei Pflugwiderständen von 50 und 75 kp/dm^2 , also mittlere bis mittelschwere Böden, eingetragen. Schlepper mit einem Leistungsgewicht von 60 kp/PS , einer Motorleistung von 60 PS und Hinterradantrieb können bei einer Scharbreite von 32 cm und 20 cm Pflügtiefe auf ungünstigen Bodenverhältnissen ($\kappa \approx 0,35$) auf mittlerem Boden 3furchig, auf mittelschwerem Boden 2furchig pflügen, unter mittleren bis guten Haftverhältnissen ($\kappa = 0,45$) können 4 bzw. 3 Schare gezogen werden und bei guten Haftverhältnissen ($\kappa = 0,6$) 6 bzw. 4 Schare. Der Schlepper mit Allradantrieb und 60 PS kann bei $\kappa = 0,45$ bereits 6 Schare auf mittlerem und 4 Schare auf mittelschwerem Boden ziehen. Geht man davon aus, daß bei dem derzeitigen Entwicklungsstand Pflüge mit mehr als 6 Scharen nicht anzutreffen sind, so wird deutlich, daß auf leichten bis mittleren Böden wohl überlegt werden muß, welche Motorleistung für einen Pflugschlepper angebracht ist. Diese Überlegung ist auch dann wichtig, wenn infolge welligen Geländes sowohl die Arbeitsbreite als auch die mögliche Fahrgeschwindigkeit begrenzt sind. Die Verhältnisse bei schwersten Böden lassen sich dadurch abschätzen, daß bei einem Pflugwiderstand von etwa 110 kp/dm^2 nur zwei Drittel der Schare wie bei 75 kp/dm^2

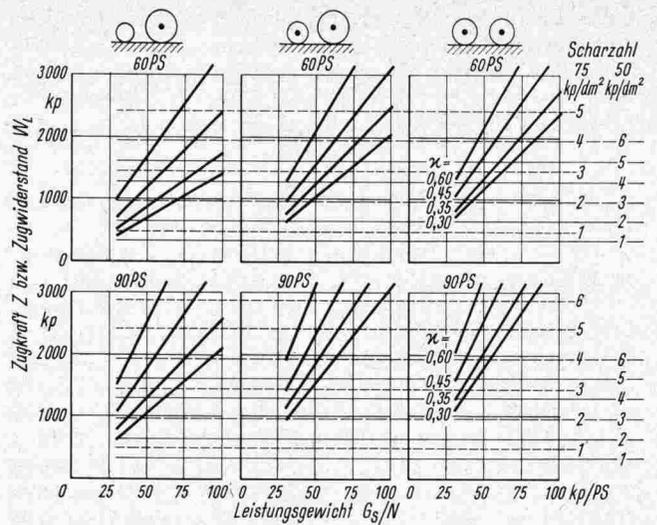


Bild 10. Zugfähigkeit von 60- bzw. 90-PS-Schleppern bei einer Stützlast von $C/G_s = 0,19$ in Abhängigkeit vom Leistungsgewicht G_s/N im Vergleich zu Zugwiderständen von 1- bis 6furchigen Pflügen bei spezifischen Pflugwiderständen von 50 bzw. 75 kp/dm^2 .

gezogen werden können. Unter solchen Verhältnissen kann je nach der Witterung die notwendige Zugfähigkeit nur noch durch Schlepper mit Allradantrieb erreicht werden.

Wie bereits eingangs ausgeführt, kann die Zugfähigkeit nicht ohne Berücksichtigung der möglichen Fahrgeschwindigkeit betrachtet werden. In **Bild 11** wurden daher die möglichen Geschwindigkeiten für die verschiedenen Schlepperausführungen bei den aus **Bild 10** ermittelten Pflugwiderständen eingezeichnet. Bei der Berechnung wurde davon ausgegangen, daß beliebige Geschwindigkeiten gefahren werden können, die Schlepper also mit stufenlosen Getrieben ausgerüstet sind. Trifft diese Voraussetzung nicht zu, so können gegebenenfalls infolge der Stufen-sprünge die zur Ausnutzung der Motorleistung notwendigen

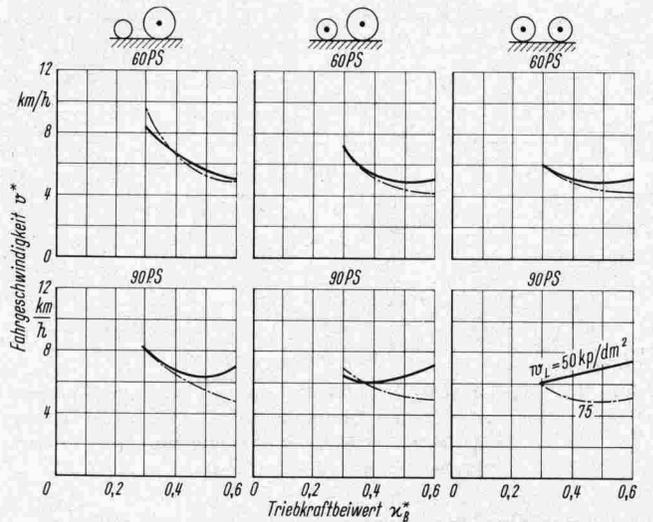


Bild 11. Die beim Pflügen mögliche Arbeitsgeschwindigkeit von 60- bzw. 90-PS-Schleppern mit einem Leistungsgewicht von 60 kp/PS und einer Stützlast von $C/G_s = 0,19$ in Abhängigkeit vom Triebkraftbeiwert κ_B^* .

Fahrgeschwindigkeiten nicht eingestellt werden. Hierdurch würde ein Vergleich sehr erschwert. Das Diagramm gilt für Schlepper mit einem Leistungsgewicht von 60 kp/PS . Je niedriger der Triebkraftbeiwert ist, desto schneller muß gefahren werden; dies zeigt sich besonders deutlich bei Schleppern mit Hinterradantrieb. Bei leichtem bis mittlerem Boden (50 kp/dm^2) kann auch mit besser werdenden Haftverhältnissen ein gewisser Anstieg der Geschwindigkeit bei zugstarken Schleppern auftreten; da keine größeren Pflüge zur Verfügung stehen, bleibt die Zugkraft konstant, während mit besseren Fahrbahnverhältnissen der Rollwiderstand sinkt und dadurch die Fahrgeschwindigkeit steigt.

Aus Bild 11 geht hervor, daß die Fahrgeschwindigkeit bei Schleppern mit Hinterradantrieb sich im Bereich von etwa 9 bis 5 km/h bewegt, bei solchen mit Allradantrieb im Bereich von 7 bis 5 km/h. Berücksichtigt man, daß nach *Gorjatschkin* der spezifische Pflugwiderstand sich nach der Gleichung

$$w_L = k + \varepsilon v^2$$

mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit vergrößert — hierüber haben früher u. a. *Söhne* [16; 17], *Rosegger* und *Hell* [11] berichtet —, so kann dadurch in Grenzfällen der Zugwiderstand des Pfluges gerade so viel vergrößert werden, daß die Zugfähigkeit des Schleppers infolge seines Gewichts und dessen Verteilung nicht mehr ausreicht, die bei einer z. Z. üblichen Geschwindigkeit von etwa 6 km/h mögliche Anzahl der Schare zu ziehen. Rechnet man nach *Söhne* [17] mit einem mittleren Faktor $\varepsilon = 2,5$ und einer Steigerung der Fahrgeschwindigkeit von 6 auf 9 km/h, so ist eine Erhöhung des spezifischen Pflugwiderstandes um etwa 9 kp/dm² zu erwarten, also bei ursprünglich 50 kp/dm² ein Anstieg um etwa 18%. Als Folge davon muß gegebenenfalls mit kleinerer Scharzahl zur Ausnutzung der Leistung schneller gefahren werden, was wiederum zu einem noch höheren spezifischen Pflugwiderstand führt, oder die Leistung kann nicht ausgenutzt werden.

Für den Einsatz in der Praxis ist entscheidend, welche Flächenleistungen bei gleicher Arbeitsgüte von den einzelnen Schlepperbauarten erwartet werden können. Da diese stark durch die Wende- und Nebenzeiten beeinflusst werden, wurden in **Bild 12** nur die aus Arbeitsbreite und möglicher Fahrgeschwindigkeit errechneten theoretischen Flächenleistungen (ohne Änderung des Pflugwiderstandes infolge der Fahrgeschwindigkeit) für Schlepper mit einem Leistungsgewicht von 60 kp/PS dargestellt.

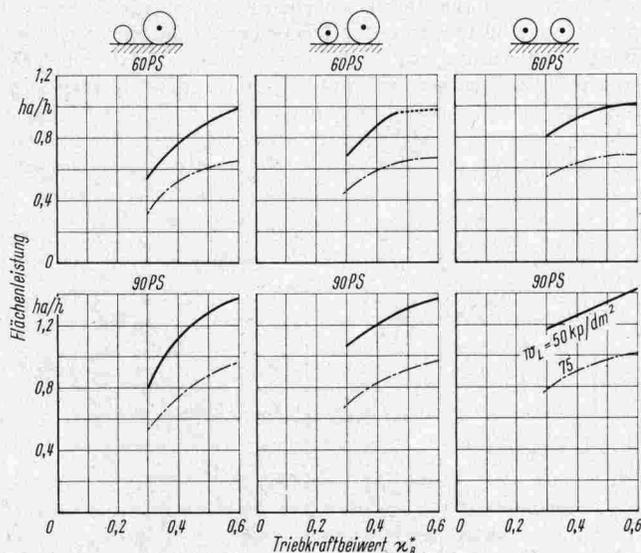


Bild 12. Flächenleistung beim Pflügen in Abhängigkeit von Triebkraftbeiwert für die drei Schlepperbauarten bei einem Leistungsgewicht $G_S/N = 60$ kp/PS. (ohne Wende- und Nebenzeiten)

Mit steigendem Pflugwiderstand sinkt naturgemäß die Flächenleistung ab; daher sind für gleiche Flächenleistungen auf schweren Böden Schlepper mit größerem Gewicht und größerer Motorleistung erforderlich als auf leichten. Bei für den Vortrieb ungünstigen Bodenverhältnissen ist die Flächenleistung von Schleppern mit Allradantrieb größer als die von hinterradangetriebenen; bei günstigen Bodenverhältnissen ergeben sich keine wesentlichen Unterschiede, es kann jedoch vorkommen, daß auf leichten bis mittleren Böden die Zugfähigkeit nicht ausgenutzt werden kann, weil die Scharzahl der Pflüge begrenzt ist.

5 Zusammenfassung

Nach Aufstellung von Gleichungen für die Zugfähigkeit und die möglichen Fahrgeschwindigkeiten für Schlepper mit Hinterrad- und Allradantrieb wurden diese mit Hilfe von im Versuch gewonnenen Kenngrößen ausgewertet. Als Ergebnis wurden die

Einflüsse des Triebkraftbeiwertes, des Stützlastfaktors und des Leistungsgewichtes ermittelt und diese auf Schlepper mit Motorleistungen von 60 und 90 PS angewendet. Die möglichen Zugkräfte dieser Schlepper wurden üblichen Zugwiderständen gegenübergestellt. Als Beispiel wurden für eine Furchentiefe von 20 cm und eine Schnittbreite je Schar von 32 cm die Anzahl der Schare und die erzielbare Fahrgeschwindigkeit ermittelt und daraus die theoretische Flächenleistung (ohne Wenden und Nebenzeiten) errechnet. Dabei ergab sich, daß auf leichten bis mittleren Böden wegen der jetzt gültigen Grenze bezüglich der Scharzahl je Pflug und der vom Fahrer ertragbaren Erschütterungen infolge der Fahrgeschwindigkeit Motorleistungen von mehr als 60 bis 70 PS zum Pflügen kaum ausgenutzt werden können, ferner daß auf mittelschweren und schweren Böden zur Überwindung der Zugwiderstände mehrschariger Pflüge, besonders bei den für den Vortrieb ungünstigen Bodenverhältnissen der Allradantrieb erforderlich ist, sofern man diese Betrachtung auf Radschlepper beschränkt.

6 Schrifttum

- [1] Der Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Juli 1966. Hrsgb. v. Kraftfahrt-Bundesamt Flensburg, Bad Godesberg: Kirschbaum-Verlag 1967.
- [2] *Bock, G.*: Feldversuche über die Zugfähigkeit von Ackerschlepperreifen. Grndl. Landtechn. Heft 3 (1952) S. 88/100.
- [3] *Bock, G.*: Beobachtungen bei Feldversuchen über die Zugfähigkeit von Schleppern. Grndl. Landtechn. Heft 5 (1953) S. 42/48.
- [4] *Coenenberg, H. H.*: Einige Grundbedingungen und Möglichkeiten für die automatische Regelung stufenloser Getriebe an Schleppern. Landtechn. Forsch. **11** (1961) H. 4, S. 101/06.
- [5] *Franke, R.*: Der Allradantrieb für Ackerschlepper. Landtechn. **18** (1963) H. 18, S. 580, 582, 583.
- [6] *Krause, R.*: Die Zug- und Lenkfähigkeit schwerer Radschlepper mit Regelhydraulik beim Arbeiten mit Anbau- und Aufsattelpflügen sowie die Tiefen- und Seitenausführung der Pflüge. Grndl. Landtechn. **17** (1967) Nr. 4, S. 132/42.
- [7] *Lange, H.*: Über die Zugfähigkeit von Reifen gleichen Durchmessers. Landtechn. Forsch. **7** (1957) H. 4, S. 103/05.
- [8] *Meyer, H.*: Zur Problematik des Sattelanhängers für Ackerschlepper. Landtechn. Forsch. **6** (1956) Heft 2, S. 39/42.
- [9] *Meyer, H.*: Probleme der Schlepperentwicklung. Grndl. Landtechn. Heft 9 (1957) S. 10/19.
- [10] *Rosegger, S.*: Arbeitsphysiologische Probleme in der Landtechnik, insbesondere beim Schlepperfahren. Grndl. Landtechn. Heft 13 (1961) S. 62/66.
- [11] *Rosegger, S., und K. Hell*: Einsatz von Anbaupflügen und Schleppern mit Regelhydraulik aus betriebstechnischer Sicht. Grndl. Landtechn. **17** (1967) Nr. 4, S. 125/31.
- [12] *Seifert, A.*: Untersuchungen über Zylinder- und Kolbenringverschleiß an luft- und wassergekühlten Ackerschlepper-Dieselmotoren. Automob.-techn. Z. **61** (1959) Heft 5, S. 125/30.
- [13] *Skalweit, H.*: Messung der Kräfte zwischen Schlepper und Anbaupflug in zwei Meßstellen. Landtechn. Forsch. **11** (1961) Heft 6, S. 151/58.
- [14] *Skalweit, H.*: Bestimmung der Kräfte an Schlepper und Pflug bei regelndem Kraftheber. Landtechn. Forsch. **12** (1962) Heft 2, S. 53/59.
- [15] *Skalweit, H.*: Über die Kräfte am Dreipunktanbau bei regelnden Krafthebern auf Grund von Feldmessungen mit Pflügen. Grndl. Landtechn. Heft 20 (1964) S. 53/57.
- [16] *Söhne, W.*: Untersuchungen über die Form von Pflugkörpern bei erhöhter Fahrgeschwindigkeit. Grndl. Landtechn. Heft 11 (1959) S. 22/39.
- [17] *Söhne, W.*: Anpassung der Pflugkörperform an höhere Fahrgeschwindigkeiten. Grndl. Landtechn. Heft 12 (1960) S. 51/62.
- [18] *Söhne, W.*: Allrad- oder Hinterradantrieb bei Ackerschleppern hoher Leistung. Grndl. Landtechn. Heft 20 (1964) S. 44/52.
- [19] *Sonnen, F. J.*: Zur Frage des Allradantriebes von Ackerschleppern. Landtechn. Forsch. **12** (1962) Heft 1, S. 1/6.