

Der Einfluß der Lastverteilung auf die Triebkraft-Schlupf-Kurve von Ackerschleppern

Von Walter Söhne und Ingo Bolling, München*)

DK 631.372:629.11.012.5

Ackerschlepper sollen hohe Triebkräfte bei möglichst gutem Wirkungsgrad auch auf nachgiebige Böden übertragen. Dabei soll der Boden nicht zu stark verdichtet werden, damit das Pflanzenwachstum nicht beeinträchtigt wird. Diesen Anforderungen wird insbesondere der Allradantrieb gerecht. Bei Allradschleppern mit mehr als 5 t Masse wird gezeigt, wie trotz begrenzten Reifenangebots durch geeignete Kombinationen von Vorder- und Hinterreifen sowie durch entsprechende Verteilung der Gesamtlast auf die Achsen hohe Triebkräfte und gute Wirkungsgradwerte erzielt werden können.

1. Einleitung

In den Jahren 1976 bis 1980 ist der Anteil der Schlepper mit Allradantrieb in fast allen Leistungsklassen um mehr als 20 %, insgesamt von 26,4 % auf 51 % gestiegen. Nur für Leistungen unter 40 kW werden noch einige Schleppertypen ausschließlich mit Hinterradantrieb angeboten, **Bild 1**.

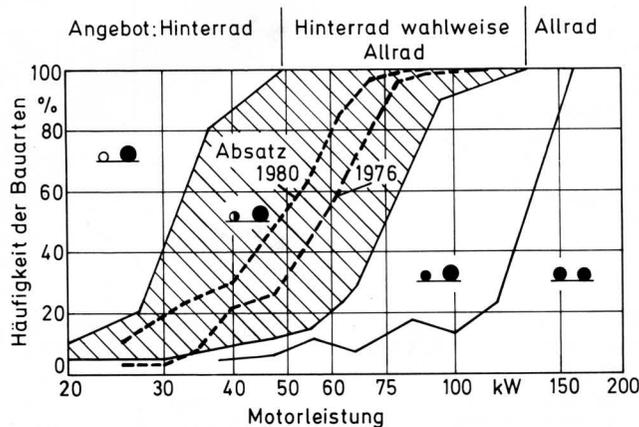


Bild 1. Häufigkeit verschiedener Bauarten: ausschließlich Hinterradantrieb; Hinterradantrieb und wahlweise Frontantrieb; konventioneller Allradantrieb; Allradantrieb mit gleichgroßen Rädern im Schlepperangebot 1980 sowie Anteil des Allradantriebs am Gesamtinlandsabsatz 1976 und 1980 in Abhängigkeit von der Motorleistung.

In den mittleren Leistungsklassen zwischen 40 und 75 kW, im Bereich des größten Angebots, sind wahlweise Allrad- und Hinterradantrieb lieferbar, und im oberen Leistungsbereich findet man nahezu ausschließlich die Allradversion [1].

Im Bild 1 angedeutet sind auch die unterschiedlichen Allradkonzepte:

*) Prof. Dr.-Ing. W. Söhne ist Direktor des Instituts für Landmaschinen an der TU München; Dipl.-Ing. I. Bolling ist wiss. Assistent an diesem Institut.

1. kleine, schmale Frontreifen und große, breite Hinterreifen
2. Frontreifen mit kleinerem Durchmesser, die sich in der Breite nur wenig oder gar nicht von den Hinterreifen mit größerem Durchmesser unterscheiden
3. Reifen vorn und hinten gleich groß in Breite und Durchmesser.

Ziel der Arbeit ist es, das Triebkraftverhalten dieser Konzepte bei verschiedenen Verteilungen der Last auf Vorder- und Hinterachse zu untersuchen.

2. Ähnliche Vergrößerung von Schleppern

Zunächst soll anhand einer Ähnlichkeitsbetrachtung erläutert werden, weshalb der Allradantrieb mit steigender Motorleistung eine entscheidende Bedeutung erlangt hat.

Die Ähnlichkeitsbetrachtung von Schleppern unterschiedlicher Größe und Masse geht aus von einem "kleinen" 13 kW-Schlepper mit einer Masse von 1350 kg. Es wird unterstellt, daß die Masse mit der dritten Potenz der untersuchten linearen Vergrößerungsfaktoren 1,3; 1,6 und 2 zunimmt. Für die weiteren Größen ergibt sich nach **Bild 2** und **Tafel 1**:

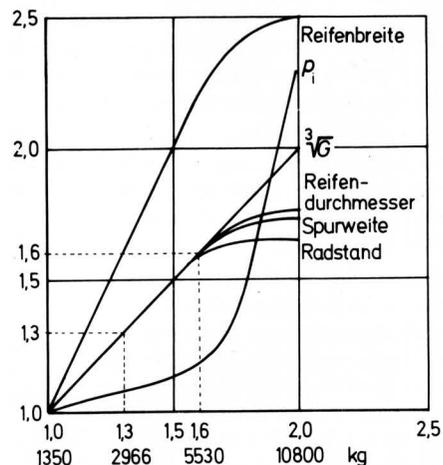


Bild 2. Schlepperdaten, bezogen auf die Daten eines Schleppers mit 1350 kg Masse, bei ähnlicher Vergrößerung entsprechend den an der Abszisse aufgetragenen linearen Vergrößerungsfaktoren; weitere Daten siehe **Tafel 1**.

G Schleppermasse
 p_i Reifennendruck

1. Radstand, Spurweite und Reifendurchmesser wachsen in guter Näherung geometrisch proportional den Vergrößerungsfaktoren bis zu einer Schleppermasse von etwa 5500 kg.
2. Da die Schleppermasse proportional der dritten Potenz der Vergrößerungsfaktoren zunimmt, die Kontaktfläche bei strenger Ähnlichkeit aber nur mit dem Quadrat, müßte der Flächendruck in der Kontaktfläche ebenfalls proportional den Vergrößerungsfaktoren zunehmen.

Vergrößerungsfaktor		1	1,3		1,6		2	
			Bez. Wert	Abs. Wert	Bez. Wert	Abs. Wert	Bez. Wert	Abs. Wert
Radstand	m	1,7	1,3	2,21	1,6	2,72	1,65	2,8
Spurweite	m	1,15	1,3	1,5	1,6	1,84	1,74	2,0
Schleppermasse	kg	1350	1,3 ³	2966	1,6 ³	5530	2 ³	10800
Hinterradreifen		8,3–28		13,6–32		18,4–38		20,8–42
Reifendurchmesser	mm	1095	1,3	1423	1,6	1750	1,77	1940
Reifenbreite	mm	211	1,6	338	2,2	464	2,5	528
Motorleistung	kW	13,2	1,3 ^{4,4}	42	1,6 ^{4,3}	100	2 ^{3,8}	184
Leistungsbez. Masse	kg/kW	98,5		70,6		55,3		58,7
Reifenlast hinten m. Ballast u. Pflug	kg	518		1246		2420		4725
Reifeninnendruck hinten	bar	1,0		1,12		1,13		2,3

bei annähernd gleichen Außendurchmessern auch als Zwillingsreifen für die Saatbettbereitung im Frühjahr verwendet werden können, reduziert sich das Angebot beim 60 kW-Schlepper auf zwei Typen, 14,9–38 und 16,9–34, beim 80 kW-Schlepper auf einen Typ, 18,4–38, wenn man den Luftdruck nicht zu stark erhöhen will. Will man mit dem letztgenannten Reifentyp eine noch höhere Schlepperleistung erzielen, muß ein immer höherer Gewichtsanteil auf die Vorderachse verlagert werden, wobei der Allradantrieb unumgänglich ist, damit die Triebkraft nicht unzulässig stark absinkt.

In **Tafel 2** ist die übertragbare Motorleistung bei Hinterrad- und Allradantrieb in Abhängigkeit von der Lastverteilung und der Bereifung dargestellt. Als Hinterreifen wurde generell der Reifen 18,4–38 mit 2380 kg Tragfähigkeit bei 1,1 bar Innendruck gewählt.

Tafel 1. Schlepperdaten bei ähnlicher Vergrößerung eines Schleppers mit den linearen Vergrößerungsfaktoren 1,3, 1,6 und 2.

- Da man mit Rücksicht auf die Kraftübertragung Reifen–Boden, auf Rollwiderstand und Bodenverdichtung den Reifeninnendruck nicht wesentlich vergrößern darf, muß die Reifenbreite stärker ansteigen, als es dem linearen Vergrößerungsfaktor entspricht und wie es bis 5500 kg auch der Fall ist.
- Mit Rücksicht auf die StVZO und die Handhabung sind der Gesamtbreite und dem Radstand Grenzen gesetzt. Ebenso begrenzen bei der Bearbeitung von Hackfrüchten der Reihenabstand und beim Pflügen die Furchenbreite die Reifenbreite.

Damit ergeben sich folgende Konsequenzen:

Bis zu einem Faktor von 1,6 kann die Reifenbreite überproportional vergrößert werden, während der Reifendurchmesser und der Radstand dem Vergrößerungsfaktor entsprechend zunehmen. Hierdurch läßt sich der Reifeninnendruck niedrig halten.

Beim Schlepper mit 10800 kg Masse und 180 kW Leistung jedoch wird eine entsprechende Steigerung der Reifendimensionen unmöglich. Der Innendruck p_i würde auf den hohen Wert von 2,3 bar steigen, wenn man nicht Zwillingsreifen mit entsprechend niedrigerem Luftdruck verwendet.

Tafel 1 zeigt den in **Bild 2** erläuterten Sachverhalt in Zahlen: In der jeweiligen linken Spalte sind die Vergrößerungsfaktoren, in der rechten die absoluten Werte eingetragen. Die Reifenbreite steigt bei den gewählten Reifentypen bis zum Faktor 1,6 überproportional. Eine entsprechende Vergrößerung bei dem Faktor 2 ist nicht mehr möglich. Bei einer Schleppermasse von 10800 kg können Radstand, Spurweite und Reifendurchmesser wegen der Dimensionierungsgrenzen und des beschränkten Reifenangebots in diesem Bereich nur noch unterproportional vergrößert werden. Da die Schleppergeschwindigkeit bei schweren Zugarbeiten mit steigender Motorleistung zunimmt und das Leistungsgewicht entsprechend abnimmt, erhöht sich die Motorleistung sogar mit einer höheren Potenz des Vergrößerungsfaktors, nämlich 4,4 bzw. 4,3 bis 5530 kg und 3,8 bei 10800 kg.

Diese Ähnlichkeitsbeziehungen haben aber auch Folgen für die Reifenauswahl, **Bild 3**. Während für den 40 kW-Schlepper je nach Bodenart und Schwerpunkt des Einsatzes (schwere Zugarbeiten bzw. Pflgearbeiten) sechs Reifentypen von 12,4–32 bis 14,9–30 zur Verfügung stehen, die

Mit zunehmender Vergrößerung der Vorderreifen, insbesondere mit einer Steigerung ihrer Breite, ist eine Lastverlagerung bis zum Verhältnis 50 : 50 möglich. Damit kann das Schleppergewicht von 5950 kg auf 9520 kg gesteigert werden. Die Motorleistung steigt beim Übergang von Hinterradantrieb zu Allradantrieb mit konventionell kleinen Vorderrädern von 75 auf 100 kW, bei gleichgroßen Reifen und gleicher Last vorn und hinten auf 140 kW.

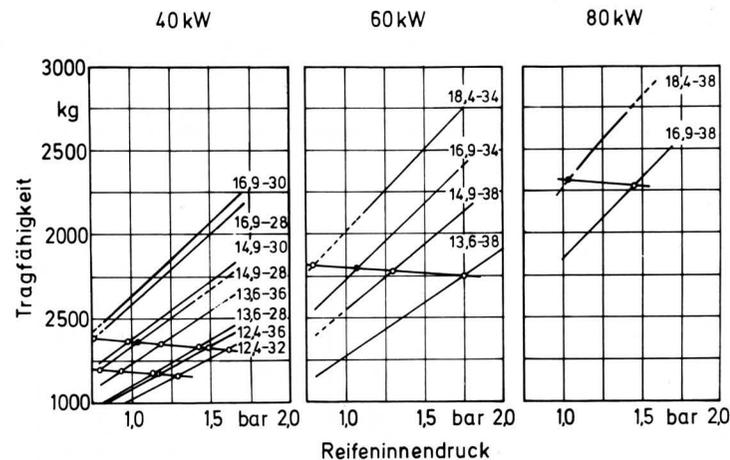


Bild 3. Tragfähigkeit verschiedener Reifentypen in Abhängigkeit vom Reifeninnendruck; Reifenangebot für Schlepper mit 40, 60 und 80 kW.

Reifen	Reifenbreite vorn hinten	Masse, leer vorn kg	Achslastverteilung leer vorn : hinten	Masse max. m. Ballast und Pflug kg	Achslastverteilung max. vorn : hinten	Motorleistung kg	
							mm
Hinterradantrieb	7,5–20 18,4–38	205	4090	33 : 67	5950	20 : 80	75
Allradantrieb	12,4–28 18,4–38	315	5600	40 : 60	6770	29,5 : 70,5	100
	14,9–26 18,4–38	378	6050	45 : 55	7490	36,5 : 63,5	110
	16,9–26 18,4–38	429	6425	50 : 50	8080	40,9 : 59,1	119
	18,4–26 18,4–38	467	6850	55 : 45	8740	45,5 : 54,5	128
	18,4–38 18,4–38	467	7490	60 : 40	9520	50 : 50	140

Tafel 2. Mögliche Vergrößerung von Schleppergewicht und Motorleistung durch Lastverlagerung auf die Vorderachse mit entsprechender Vergrößerung der Frontreifen; Hinterreifen 18,4–38.

3. Untersuchung von Allradkonzepten

3.1 Ausgewählte Konzepte

Um den Einfluß der Lastverteilung auf die Triebkraft in Abhängigkeit von Reifenbreite- und -durchmesser zu untersuchen, wurden Schlepperkonzepte mit einer Gesamtmasse von 6000 kg ausgewählt, bei denen die Lastverteilung (vorne/hinten) von 20 : 80 bis zu 60 : 40 variiert wird. Von einer konstanten Schleppermasse wurde deshalb ausgegangen, weil dann die Triebkräfte wie die Triebkraftbeiwerte direkt vergleichbar sind.

Das Bild 4 zeigt die drei Konzepte (I, II, III) mit jeweils drei verschiedenen Fällen der Achslastverteilung (Lastfälle):

- I der Vorderreifen ist kleiner und schmaler als der Hinterreifen, aufgrund der Tragfähigkeitsgrenze sind maximal 40 % der Gesamtlast auf den Vorderreifen möglich, im 1. bzw. 3. Lastfall müssen aber Innendrucke gewählt werden, die bereits im weniger günstigen Bereich liegen;
- II Vorder- und Hinterreifen sind gleich breit, der Vorderreifen ist im Durchmesser kleiner, die Innendrucke liegen überwiegend im günstigen Bereich von $\leq 1,0$ bar;
- III gleich große Reifen gleicher Breite, aber kleineren Durchmessers als die Hinterreifen bei I und II, Innendrucke um 1,0 bar.

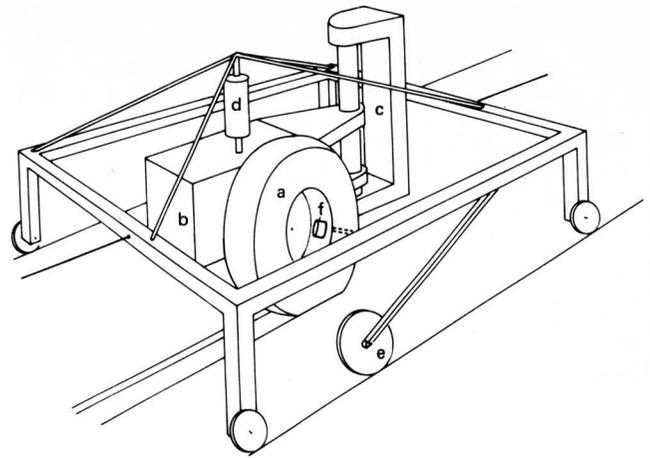


Bild 5. Meßwagen zur Bestimmung von Reifenwerten in der Bodenrinne des Instituts für Landmaschinen der TU München.

- | | |
|----------------|----------------------|
| a Reifen | d Radlastzylinder |
| b Getriebe | e Peislererrad |
| c Geradführung | f Deformationsfühler |

Konzept	I		II		III	
Reifen	11.2-28	16.9-38	16.9-26	16.9-38	16.9 R 30	16.9 R 30
Achslastverteilung in % der Gesamtlast	20	80	30	70	40	60
Reifeninnendruck in bar	0,8	1,6	0,8	1,2	0,8	1,2
	1,4	1,2	0,8	0,8	0,9	0,9
	1,6	1,0	1,0	0,9	1,2	0,8

Bild 4. Reifendimensionen und -innendruck für verschiedene Konzepte eines 6 t-Allradsschleppers in Abhängigkeit von der Achslastverteilung.

3.2 Versuchsaufbau

Die Versuche wurden in der großen Bodenrinne des Instituts für Landmaschinen der TU München durchgeführt. Der Boden war ein verdichtungsempfindlicher, feinsandiger Lehm mit 14,5 % Wassergehalt und einem mittleren Conus-Index von 16 N/cm². Das entspricht einem "schlecht befahrbaren" Boden.

Bild 5 zeigt Reifenantrieb und Belastungseinrichtung, bei der die Reifenlast mit einem Pneumatikzylinder aufgebracht wird.

Das Bild 6 gibt als Beispiel die Meßwerte für den Umfangskraftbeiwert μ_U , den Triebkraftbeiwert κ_T sowie die errechneten Kurven für Triebkraft-, Umfangskraft- und Rollwiderstandsbeiwert und den Wirkungsgrad der Kräfteübertragung wieder. Die errechneten Kurven wurden nach dem Verfahren von Steiner [2] ermittelt.

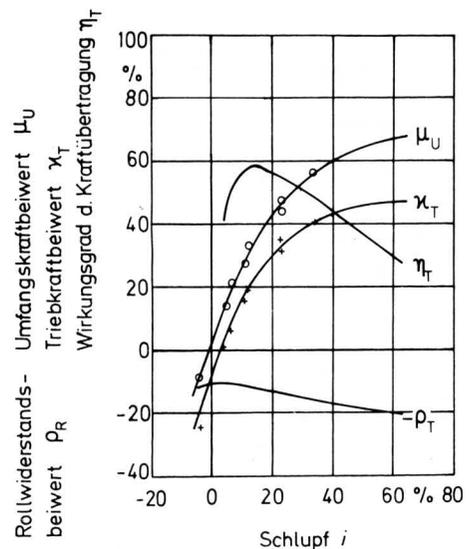


Bild 6. Gemessene (o für μ_U ; + für κ_T) und errechnete Beiwerte des Reifens 16.9-26 in Abhängigkeit vom Schlupf; Radlast $G = 9$ kN, Reifeninnendruck $p_i = 0,8$ bar.

3.3 Ergebnisse

Im Bild 7 sind die Kurven für das Konzept I, mit kleinem Reifen vorn, aufgetragen. Hier hat die Lastverteilung offensichtlich nur geringen Einfluß. Im günstigsten Fall – 32 % der Gesamtlast vorn und 68 % hinten – wird ein maximaler Wirkungsgrad von 56 % bei 15 % Schlupf erreicht. Bei der Achslastverteilung 40 : 60 ist der Vorderreifen bereits etwas überlastet. Der Innendruck muß mit 1,6 bar sehr hoch gewählt werden.

Bild 8 für Konzept II zeigt den Vorteil gleicher Reifenbreite: die Triebkraftbeiwert-Kurven liegen hier in allen Fällen höher als bei Konzept I:

Bei 20 % Schlupf: $\kappa_T = 36$ % für I, $\kappa_T = 40$ % für II.

Bei 60 % Schlupf: $\kappa_T = 48$ % für I, $\kappa_T = 54$ % für II.

Der maximale Wirkungsgrad der Kräfteübertragung beträgt bei I $\eta_T \approx 55$ %, bei II $\eta_T \approx 60$ %.

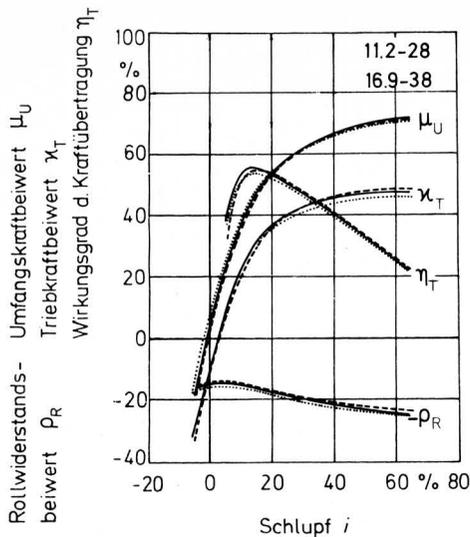


Bild 7. Kennlinien für Konzept I; Daten nach Bild 4.

Achslastverteilung (vorn/hinten)

— 32 : 68 -- 40 : 60 ... 20 : 80

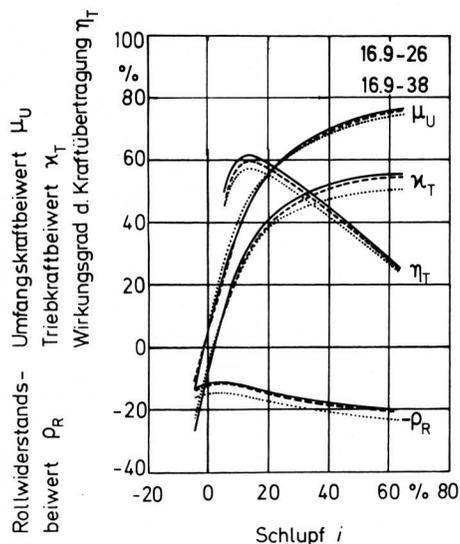


Bild 8. Kennlinien für Konzept II; Daten nach Bild 4.

Achslastverteilung (vorn/hinten)

— 45 : 55 -- 50 : 50 ... 30 : 70

Beim Konzept II ist im Bild 8 auch deutlich der Einfluß der Lastverteilung zu erkennen. Am günstigsten ist hier die Achslastverteilung 45 : 55. Hierbei dürfte wiederum ausschlaggebend sein, daß der Innendruck im Vorderreifen mit 0,8 bar günstigere Rollwiderstandsverhältnisse bewirkt als der etwas härtere Vorderreifen mit 1,0 bar Innendruck bei einer Lastverteilung von 50 : 50.

Die Achslastverteilung 30 : 70 ist hier am ungünstigsten, weil vermutlich die Vorverdichtung in der 1. Spur bei 30 % der Last auf der Vorderachse dem Hinterreifen einen zu weichen Spurrund hinterläßt, so daß der Gesamrollwiderstand deutlich schlechter wird als bei den zwei anderen Lastfällen.

Das Konzept III mit gleichen Reifen 16.9 R 30 vorn und hinten weist gegenüber II keine großen Unterschiede bei Triebkraft und Wirkungsgrad auf, Bild 9. Jedoch ist hier der Hinterreifen deutlich kleiner als der Reifen 16.9-38 bei II. Bei III ist die Achslastverteilung 50 : 50 optimal. Sie liefert nahezu die gleiche Triebkraft wie die Variante 45 : 55 beim Konzept II mit gleich breiten Reifen verschiedenen Durchmessers.

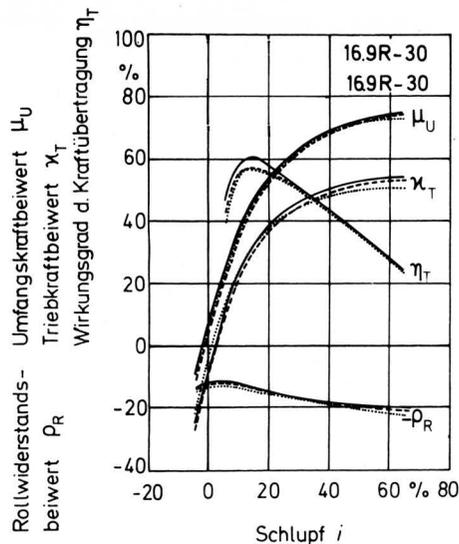


Bild 9. Kennlinien für Konzept III; Daten nach Bild 4.

Achslastverteilung (vorn/hinten)

— 50 : 50 -- 60 : 40 ... 40 : 60

3.4 Vergleich der Konzepte

Der in Bild 9 fast gleich große Abstand der Wirkungsgradlinien für die Lastfälle 60 : 40 und 40 : 60 von der Linie der Lastverteilung 50 : 50 deutet darauf hin, daß die Lastverteilung 50 : 50 bei dem Konzept mit gleichen Reifen vorn und hinten die maximal erreichbaren Werte für Triebkraft und Wirkungsgrad liefert.

In Bild 10 ist zum Vergleich die jeweils günstigste Achslastvariante der Konzepte I bis III dargestellt. Das Konzept I mit dem kleinen schmalen Vorderreifen fällt deutlich ab, während die Konzepte II und III mit gleich breiten Reifen nahe beieinander liegen.

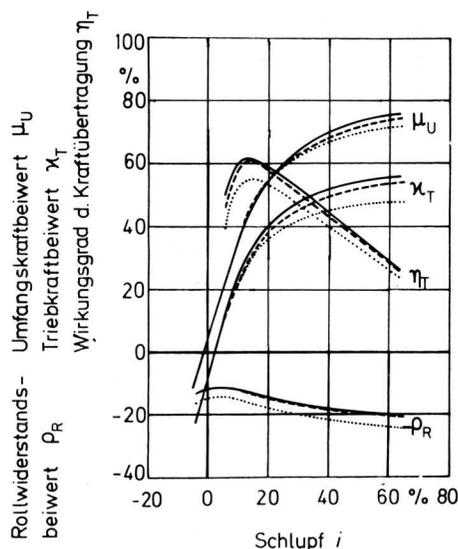


Bild 10. Vergleich der Kennlinien für die jeweils günstigste Achslastverteilung bei den Konzepten I, II und III.

— Konzept II, 45 : 55, 16.9-26/16.9-38
 -- Konzept III, 50 : 50, 16.9 R 30/16.9 R 30
 ... Konzept I, 32 : 68, 11.2-28/16.9-38

4. Einfluß der Lastverteilung auf die Bodenverdichtung

Bei der Wahl der günstigsten Lastverteilung für Schlepper hoher Leistung sollte aber auch die Bodenverdichtung, die durch die jeweilige Lastverteilung beeinflusst wird, berücksichtigt werden.

Im Bild 11 sind die Druckzwiebeln im Boden — d.h. die Linien konstanter 1. Hauptspannungen σ_1 — für zwei verschiedene Konzepte dargestellt.

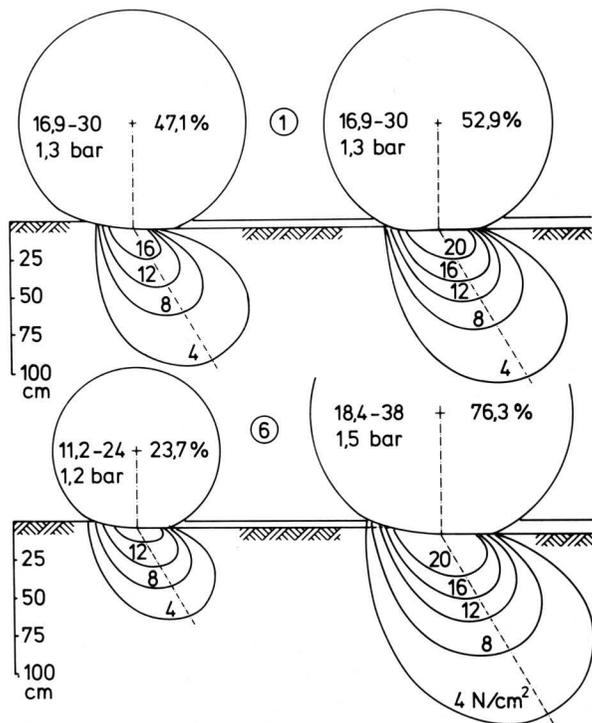


Bild 11. Druckzwiebeln unter angetriebenen Reifen bei gleichem Schleppergewicht, aber unterschiedlicher Achslastverteilung und Bereifung.

Einfluß der Beregnung auf den Boden

Von Dirk Antonie Liefink, Wageningen*)

DK 631.347:631.434:531.6

Die Steigerung der Flächenleistung und Herabsetzung des Arbeitsaufwandes sind Ziele bei der Weiterentwicklung der Beregnungstechnik. Ein Weg zu diesen Zielen führt über die Steigerung der Wurfweite des Einzelregners. Es ergibt sich dabei die Frage, wie sich die Wurfweite auf die für die Beregnung wichtigen Größen, die gleichmäßige Wasserverteilung über der Fläche und die Beeinflussung der Bodenstruktur auswirkt.

Durch Bestimmen der Beregnungshöhe, der mittleren Tropfengröße und der kinetischen Energie der Tropfen in Abhängigkeit von der Wurfweite bei einem Schwachregner und einem Mittelstarkregner trägt diese Arbeit zur Lösung wichtiger Fragen bei.

*) Ing. D.A. Liefink ist technischer Mitarbeiter im Institut für Landmaschinen, Wageningen, Niederlande.

Im oberen Teil ist das Konzept III mit einer Achslastverteilung 47,1 : 52,9 wiedergegeben ($M = 7200$ kg). Die Drucklinie von 4 N/cm^2 erreicht hier eine Tiefe von 108 cm, die von 8 N/cm^2 75 cm. Beim Konzept I (unten) mit einer Achslastverteilung 23,7 : 76,3 dagegen wird der Bereich der 4 N/cm^2 -Linie beim Vorderreifen wesentlich kleiner, beim Hinterreifen jedoch erreicht er eine Tiefe von 135 cm, die 8 N/cm^2 -Linie erreicht 90 cm.

5. Zusammenfassung

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß mit zunehmenden Schlepperleistungen und -gewichten zunächst der Übergang zum Allradantrieb vollzogen werden muß, wie es je nach Bodenart und Anteil schwerer Zugarbeiten zwischen 30 und 70 kW in der Tat der Fall ist. Eine weitere Steigerung der Leistung und des Gewichts erfordert mit Rücksicht auf die zulässige maximale Reifenbreite beim Fahren in der Furche eine Verlagerung der Last nach vorne und somit größere und breitere Vorderreifen bis hin zu zunächst gleichbreiten Reifen bei kleinerem Durchmesser der Vorderräder und dann zu in Breite und Durchmesser gleichen Reifen.

Die Messungen haben gezeigt, daß bei ähnlichen bzw. gleichen Reifen vorne und hinten Kraftübertragung und Bodenverdichtung nur dann im günstigen Bereich liegen, wenn gewährleistet wird, daß die Vorderachslast sich im Bereich von 45–50 % der Gesamtlast bewegt.

Bei großem Schlupf wurde allerdings die Spur hinter dem vorderen Reifen teilweise mit gelockertem Boden aus den Stollennuten angefüllt, so daß der Multipasseffekt verringert wurde. Vorn sollte man also Reifen mit geringerer Stollenhöhe (etwas abgenutzt) und hinten Reifen mit größerer Stollenhöhe einsetzen.

Schrifttum

- [1] Söhne, W.: Entwicklungstendenzen und -möglichkeiten bei Allrad Schleppern. Landtechnik Bd. 35 (1980) Nr. 4, S. 156/61.
- [2] Steiner, M.: Analyse, Synthese und Berechnungsmethoden der Triebkraft-Schlupf-Kurve von Luftreifen auf nachgiebigem Boden. Diss. TU München 1979.

1. Einleitung

Mit der Beregnung können in einem trockenen Frühjahr zur Zeit der Samenkeimung gute Erfolge erzielt werden. Zu dieser Zeit ist der Boden jedoch noch nicht von einem "Blätterdach" der Pflanzen bedeckt und hinsichtlich der Bodenverschlämmung sehr empfindlich für einen Beregnungseinsatz. Die Gefahr der Bodenverschlämmung ist nicht nur abhängig von der Beregnungsintensität, sondern auch vom jeweiligen Bodenzustand bzw. der Bodenstruktur.

Das Problem der Bodenbeeinflussung muß daher von zwei Seiten betrachtet werden:

- Von der Seite der Beregnung ist zu klären, wie stark und über welche Faktoren die Beregnung den Boden beeinflussen kann – Erosionswirkung;
- Von der Bodenseite ist zu untersuchen, wie die Empfindlichkeit des Boden bei der Beregnung einzuschätzen ist – Erosionsempfindlichkeit.